

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

JPA11-136706

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: 11136706 A

(43) Date of publication of application: 21.05.99

(51) Int. Cl.

H04N 13/04  
G06F 3/033  
H04N 13/00  
H04N 13/02  
// A63F 9/22  
G06T 15/00  
G06T 7/00

(21) Application number: 10065824

(22) Date of filing: 16.03.98

(30) Priority: 01.09.97 JP 09236375

(71) Applicant: MR SYSTEM KENKYUSHO:KK

(72) Inventor:  
SATO KIYOHIDE  
YAMAMOTO HIROYUKI  
OSHIMA TOSHIICHI  
TANIGUCHI TAKASATO  
KATAYAMA AKIHIRO

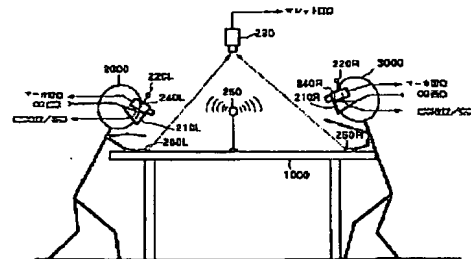
(54) POSITION ATTITUDE SENSOR, POSITION ATTITUDE DETECTION METHOD, COMPOSITE REALITY PROVIDING DEVICE, GAME MACHINE, COMPOSITE REALITY PROVIDING METHOD AND STORAGE MEDIUM

COPYRIGHT: (C)1999,JPO

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a system presenting composite reality that accurately catches a player moving over a wide range.

SOLUTION: The game machine is provided with a work stand 1000 having pluralities of markers placed at known positions, attitude sensors 220 (220L, 220R) that are mounted on a player to sense a head attitude of the player, and cameras 240 (240L, 240R) that are set to receive at least one of pluralities of the markers within the visual field. Then the position of the head is detected based on an output from the attitude sensors 220, and the detected head position signal is corrected by applying image processing to an image signal from the cameras 240 to detect positions of the cameras 240 and a virtual image is generated to provide composite reality at a visual point depending on the corrected head position.



**THIS PAGE BLANK (USE TO)**

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-136706

(43) 公開日 平成11年(1999) 5月21日

(51) Int. Cl.<sup>6</sup>  
H04N 13/04  
G06F 3/033 310  
H04N 13/00  
13/02  
// A63F 9/22

F I  
H04N 13/04  
G06F 3/033 310 Y  
H04N 13/00  
13/02  
A63F 9/22 B

審査請求 未請求 請求項の数46 O L (全26頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平10-65824  
(22) 出願日 平成10年(1998) 3月16日  
(31) 優先権主張番号 特願平9-236375  
(32) 優先日 平9(1997) 9月1日  
(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 397024225  
株式会社エム・アール・システム研究所  
神奈川県横浜市西区花咲町6丁目145番地  
(72) 発明者 佐藤 清秀  
横浜市西区花咲町6丁目145番地 横浜花  
咲ビル 株式会社エム・アール・システム  
研究所内  
(72) 発明者 山本 裕之  
横浜市西区花咲町6丁目145番地 横浜花  
咲ビル 株式会社エム・アール・システム  
研究所内  
(74) 代理人 弁理士 大塚 康德 (外2名)

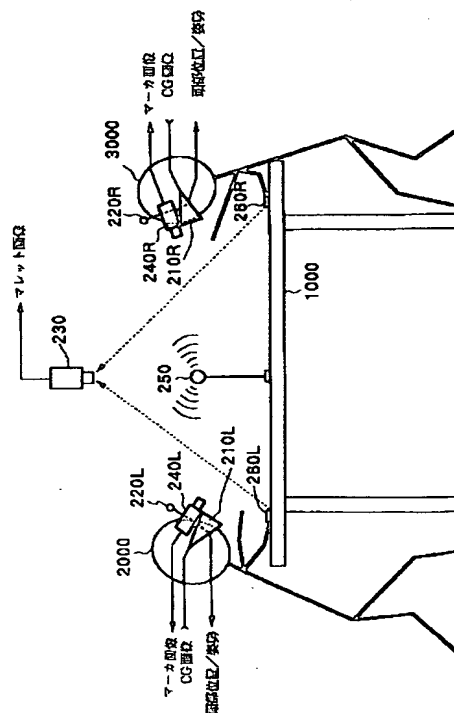
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 位置姿勢検出装置、位置姿勢検出方法、複合現実感提示装置、ゲーム装置、複合現実感提示方法および記憶媒体

(57) 【要約】

【課題】 広い範囲で移動するプレーヤを精度良く補正して複合現実感を提示する装置を提案する。

【解決手段】 既知の位置に配置された複数のマーカを有する作業台(1000)と、プレーヤの頭部姿勢を検出するためにプレーヤに装着される姿勢センサ(220)と、前記複数のマーカのうちの少なくとも1つが視野に入るように設定されたカメラ(240)とを具備し、前記姿勢センサからの出力に基づいて前記頭部位置を検出すると共に、検出された頭部位置信号を、前記カメラの画像信号を画像処理してカメラの位置を検出することにより補正して、この補正された頭部位置に応じた視点位置に複合現実感を提示するように仮想画像を生成する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 作業者が所定の複合現実環境内で行う作業を表す 3 次元仮想画像を生成するために、該作業者の作業位置を検出する位置姿勢検出装置であって、該作業者の三次元位置姿勢を計測して、作業者位置姿勢信号を出力する位置姿勢センサと、前記環境内の既知の位置に設けられた第 1 の複数のマーカを撮像するカメラと、前記カメラからの画像信号を処理して、前記第 1 の複数のマーカの中の任意のマーカを追跡し、この追跡マーカの座標値を検出する検出手段と、前記検出手段によって得られた前記追跡マーカの座標値と前記位置姿勢センサからの作業者位置姿勢信号とに基づいて、前記作業部位の位置姿勢を表す部位位置姿勢を演算する演算手段とを具備する位置姿勢検出装置。

【請求項 2】 前記第 1 の複数のマーカの内の、1 つのマーカと他のマーカとの間の、作業者の前方を横切る方向における距離は、作業者の前方のより遠方にあるマーカ程、長くなるように設定されていることを特徴とする請求項 1 に記載の位置姿勢検出装置。

【請求項 3】 複数の作業者が協調作業を行う場合において、同じ作業者のための第 1 の複数のマーカは同じ表現態様に統一されていることを特徴とする請求項 1 に記載の位置姿勢検出装置。

【請求項 4】 前記作業部位は作業者の視点位置であることを特徴とする請求項 1 に記載の位置姿勢検出装置。

【請求項 5】 前記検出手段は、前記カメラが取得した画像中において最初に探索したマーカを用いることを特徴とする請求項 1 に記載の位置姿勢検出装置。

【請求項 6】 前記検出手段は、前回のシーンの画像において探索されたマーカを今回のシーンの画像中に探索する手段を具備することを特徴とする請求項 1 に記載の位置姿勢検出装置。

【請求項 7】 前記位置姿勢センサは作業者の頭部に設けられることを特徴とする請求項 1 に記載の位置姿勢検出装置。

【請求項 8】 前記第 1 の複数のマーカの前記環境内における配置分布密度は、作業者の前方のより遠方にあるマーカの分布密度が、より近隣にあるマーカの分布密度よりも低く設定されていることを特徴とする請求項 1 に記載の位置姿勢検出装置。

【請求項 9】 前記第 1 の複数のマーカは、前記カメラの視界内に少なくとも 1 つが捕捉されるように前記環境内に配置されたことを特徴とする請求項 1 に記載の位置姿勢検出装置。

【請求項 10】 前記検出手段は、前記追跡マーカの画像座標系での画像座標を検出することを特徴とする請求項 1 に記載の位置姿勢検出装置。

【請求項 11】 前記検出手段は、前記追跡マーカのカメラ座標系での座標を検出することを特徴とする請求項

1 に記載の位置姿勢検出装置。

【請求項 12】 前記第 1 の複数のマーカは前記環境内に配置された平面状のテーブルに描かれたマークであることを特徴とする請求項 1 に記載の位置姿勢検出装置。

【請求項 13】 前記第 1 の複数のマーカは前記環境内に三次元的位置に配置されたことを特徴とする請求項 1 に記載の位置姿勢検出装置。

【請求項 14】 前記検出手段は、前記追跡マーカを、前記第 1 の複数のマーカの中から同定する同定手段を有することを特徴とする請求項 1 に記載の位置姿勢検出装置。

【請求項 15】 前記検出手段は、前記カメラが捉えた画像内に第 2 の複数のマーカが検出された場合に、その第 2 の複数のマーカのなかから 1 つの追跡マーカを選択する手段を有することを特徴とする請求項 1 に記載の位置姿勢検出装置。

【請求項 16】 前記同定手段は、選択された追跡マーカを画像座標系で同定することを特徴とする請求項 1 に記載の位置姿勢検出装置。

【請求項 17】 前記同定手段は、選択された追跡マーカを世界座標系で同定することを特徴とする請求項 1 に記載の位置姿勢検出装置。

【請求項 18】 前記同定手段は、前記作業者位置姿勢信号に基づいて前記カメラの位置姿勢信号を求め、

このカメラの位置姿勢信号により、前記第 1 の複数のマーカの世界座標系における 3 次元座標を画像座標値に変換し、

この画像座標系における前記第 1 の複数のマーカの座標と、前記追跡マーカの画像座標値とを比較することにより、その追跡マーカを同定することを特徴とする請求項 14 に記載の位置姿勢検出装置。

【請求項 19】 前記同定手段は、前記作業者位置姿勢信号に基づいて前記カメラの位置姿勢信号を求め、

このカメラの位置姿勢信号により前記追跡マーカのカメラ座標系における座標を世界座標系の値に変換し、

この世界座標系における前記追跡マーカの座標と、前記第 1 の複数のマーカの世界座標系の座標値とを比較することにより、その追跡マーカを同定することを特徴とする請求項 15 に記載の位置姿勢検出装置。

【請求項 20】 前記部位は作業者の視点位置であって、

前記演算手段は、前記作業者位置姿勢信号と、前記同定手段によって同定された追跡マーカのカメラ座標系による座標値と、当該追跡マーカの三次元位置を画像座標系に変換した値との誤差距離とに基づいて、作業者の視点位置での位置姿勢信号を求めることを特徴とする請求項 14 に記載の位置姿勢検出装置。

【請求項 21】 前記部位は作業者の視点位置であって

て、

前記演算手段は、前記作業者位置姿勢信号と、前記同定手段によって同定された追跡マーカの画像座標を世界座標系に変換した座標値と、当該追跡マーカの三次元位置との誤差距離とに基づいて、作業者の視点位置での位置姿勢信号を求めることを特徴とする請求項 1 4 に記載の位置姿勢検出装置。

【請求項 2 2】 前記位置姿勢センサは前記作業者の頭部に設けられた磁気センサであることを特徴とする請求項 1 4 に記載の位置姿勢検出装置。

【請求項 2 3】 前記カメラは作業者に装着される複数のユニットを有し、

前記同定手段は、選択された追跡マーカを世界座標系で同定することを特徴とする請求項 1 7 に記載の位置姿勢検出装置。

【請求項 2 4】 前記カメラユニットは 2 つであることを特徴とする請求項 2 3 に記載の位置姿勢検出装置。

【請求項 2 5】 既知の位置に配置された第 1 の複数のマーカを有する作業台と、

作業者の頭部姿勢を検出するために作業者に装着される姿勢センサと、

前記第 1 の複数のマーカのうちの少なくとも 1 つが視野に入るように設定されたカメラと、

前記カメラからの画像信号を処理して、前記第 1 の複数のマーカの中の任意のマーカを追跡し、この追跡マーカの座標値を検出する検出手段と、

前記検出手段によって得られた前記追跡マーカの座標値と前記位置姿勢センサからの頭部位置姿勢信号とに基づいて、前記作業者の視点の位置姿勢を表す視点の位置姿勢信号を演算する演算手段と、

前記視点の位置姿勢信号に応じた視点位置に、複合現実感を提示するための仮想画像を生成する生成手段とを具備することを特徴とする複合現実感提示装置。

【請求項 2 6】 前記第 1 の複数のマーカの内の、1 つのマーカと他のマーカとの間の、作業者の前方を横切る方向における距離は、作業者の前方のより遠方にあるマーカ程、長くなるように前記作業台上に設定されていることを特徴とする請求項 2 5 に記載の複合現実感提示装置。

【請求項 2 7】 複数の作業者が協調作業を行う場合において、同じ作業者のための複数のマーカは同じ表現態様に統一されていることを特徴とする請求項 2 5 に記載の複合現実感提示装置。

【請求項 2 8】 前記検出手段は、前記カメラが取得した画像中においてマーカを追跡してそのマーカの画像座標値を出力する追跡手段を更に有することを特徴とする請求項 2 5 に記載の複合現実感提示装置。

【請求項 2 9】 前記追跡手段は、前記画像中で最初に探索されたマーカを追跡中のマーカと同定することを特徴とする請求項 2 8 に記載の複合現実感提示装置。

【請求項 3 0】 前記追跡手段は、前回のシーンの画像において探索されたマーカを今回のシーンの画像中に探索する手段を具備することを特徴とする請求項 2 8 に記載の複合現実感提示装置。

【請求項 3 1】 前記第 1 の複数のマーカの前記環境内における配置分布密度は、作業者の前方のより遠方にあるマーカの分布密度が、より近隣にあるマーカの分布密度よりも低く設定されていることを特徴とする請求項 2 5 に記載の複合現実感提示装置。

10 【請求項 3 2】 前記第 1 の複数のマーカは、前記カメラの視界内に少なくとも 1 つが捕捉されるように前記環境内に配置されたことを特徴とする請求項 2 5 に記載の複合現実感提示装置。

【請求項 3 3】 前記検出手段は、前記追跡マーカの画像座標系での画像座標を検出することを特徴とする請求項 2 5 に記載の複合現実感提示装置。

【請求項 3 4】 前記検出手段は、前記追跡マーカのカメラ座標系での座標を検出することを特徴とする請求項 2 5 に記載の複合現実感提示装置。

20 【請求項 3 5】 前記第 1 の複数のマーカは前記環境内に配置された平面状のテーブルに描かれたマークであることを特徴とする請求項 2 5 に記載の複合現実感提示装置。

【請求項 3 6】 前記第 1 の複数のマーカは前記環境内に三次元的位置に配置されたことを特徴とする請求項 3 5 に記載の複合現実感提示装置。

30 【請求項 3 7】 前記検出手段は、前記追跡マーカを、前記第 1 の複数のマーカの中から同定する同定手段を有することを特徴とする請求項 2 5 に記載の複合現実感提示装置。

【請求項 3 8】 前記同定手段は、画像座標系で同定することを特徴とする請求項 2 5 に記載の複合現実感提示装置。

【請求項 3 9】 前記同定手段は、世界座標系で同定することを特徴とする請求項 2 6 に記載の複合現実感提示装置。

40 【請求項 4 0】 作業者が所定の複合現実環境内で行う作業に関連する 3 次元仮想画像を生成するために、該作業者の作業位置を検出する位置姿勢検出方法であって、該作業者の三次元位置姿勢を計測して位置姿勢信号を出力する工程と、

前記環境内の既知の位置に設けられた複数のマーカを撮像するカメラからの画像信号を処理して、少なくとも 1 つのマーカを追跡して、この追跡マーカの座標を検出する工程と、

この追跡マーカの座標と前記位置姿勢信号とに基づいて、前記作業者の頭部の位置姿勢を表す信号を出力する工程とを具備することを特徴とする位置姿勢検出方法。

50 【請求項 4 1】 前記請求項 4 0 の位置姿勢検出法により検出された前記作業者の頭部位置に従って、仮想現実

感を提示する複合現実感の提示方法。

【請求項42】 前記カメラは作業者に複数装着され、前記検出工程は、複数のカメラユニットにより撮像された作業者前方の複数の画像を表す信号を三角測量の方法を用いて処理することにより、少なくとも1つのマーカを追跡することを特徴とする請求項40に記載の位置姿勢検出方法。

【請求項43】 請求項40に記載の方法を記述するコンピュータプログラムを記憶する記憶媒体。

【請求項44】 請求項41に記載の方法を記述するコンピュータプログラムを記憶する記憶媒体。

【請求項45】 請求項42に記載の方法を記述するコンピュータプログラムを記憶する記憶媒体。

【請求項46】 作業者の作業位置を検出する位置姿勢検出装置であって、  
該作業者の3次元位置姿勢を計測して位置姿勢信号を出力する位置姿勢センサと、  
前記環境内の既知の位置に設けられた複数のマーカを撮像するカメラと、  
前記カメラからの画像信号を処理して、前記複数のマーカの中の任意のマーカを追跡し、この追跡マーカの座標値を検出する検出手段と、  
前記検出手段によって得られた前記追跡マーカの座標値に基づいて、前記位置姿勢センサの出力信号を補正する補正手段とを具備する位置姿勢検出装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、例えばコンピュータグラフィックスによる仮想画像を現実の空間に結合させた複合現実感を作業者に提示するなどの場合に、作業者の3次元上の位置もしくは姿勢を精度よく検出する位置姿勢検出装置および位置姿勢検出方法に関し、特に、複合現実感を提示される作業者の例えば頭部位置検出の精度の改良に関する。

【0002】

【従来の技術】 近年、現実空間と仮想空間の繋ぎ目のない(seamless)結合を目的とした複合現実感(以下、「MR」(Mixed Reality)と称す)に関する研究が盛んになっている。MRは、従来、現実空間と切り離された状況でのみ体験可能であったバーチャルリアリティ(以下VRと略す)の世界と現実空間との共存を目的とし、VRを増強する技術として注目されている。

【0003】 MRの応用としては、患者の体内の様子を透視しているように医師に提示する医療補助の用途や、工場において製品の組み立て手順を実物に重ねて表示する作業補助の用途など、今までのVRとは質的に全く異なった新たな分野が期待されている。これらの応用に対して共通に要求されるのは、現実空間と仮想空間の間の“ずれ”をいかにして取り除くかという技術である。

“ずれ”は、位置ずれ、時間ずれ、質的ずれに分類可能

であり、この中でも最も基本的な要求といえる位置ずれの解消(即ち、位置合わせ)については、従来から多くの取り組みが行われてきた。

【0004】 ビデオカメラで撮影された映像に仮想物体を重畳するビデオシースルー(Video-See-Through)方式のMRの場合、位置合せの問題は、そのビデオカメラの3次元位置を正確に求める問題に帰結される。半透過型のHMD(Head Mount Display)を用いる光学シースルー(Optic-See-Through)方式のMRの場合における位置合せの問題は、ユーザーの視点の3次元位置を求める問題といえ、それらの計測法としては、磁気センサや超音波センサ、ジャイロといった3次元位置方位センサ利用が一般的であるが、これらの精度は必ずしも十分とはいえず、その誤差が位置ずれの原因となる。

【0005】 一方、ビデオシースルー方式の場合には、このようなセンサを用いずに画像情報を元に画像上での位置合わせを直接行う手法も考えられる。この手法では位置ずれを直接取り扱えるために、位置合わせが精度よく行える反面、実時間性や信頼性の欠如などの問題があった。近年になって、位置方位センサと画像情報の併用により、両者の欠点を互いに補って精度よい位置合わせを実現する試みが報告されている。

【0006】 1つの試みとして、「Dynamic Registration Correction in Video-Based-Augmented Reality Systems」(Bajura MichaelとUlrich Neuman, IEEE Computer Graphics and Applications 15, 5, pp. 52-60, 1995)(以下、第1文献と呼ぶ)は、ビデオシースルー方式のMRにおいて、磁気センサの誤差によって生じる位置ずれを画像情報によって補正する手法を提案した。

【0007】 また、「Superior Augmented Reality Registration by Integrating Landmark Tracking and Magnetic Tracking」(Slate Andrei等, Proc. of SIGGRAPH 96, pp. 429-438, 1996)(以下、第2文献と呼ぶ)は、さらにこの手法を発展させ、画像情報による位置推定の曖昧性をセンサ情報によって補う手法を提案した。上記第2文献は、位置方位センサposition-azimuth sensorのみを用いてビデオシースルー方式のMR提示システムを構築した場合において、そのセンサの誤差が原因となって画像上に発生する位置ずれを解消するために、3次元位置が既知であるランドマークを現実空間に設定する。このランドマークは、その位置ずれを画像情報から検出するための手掛かりとなる。

【0008】 位置方位センサの出力に誤差が含まれていないとすると、画像上で実際に観測されるランドマークの座標( $Q_i$ とする)と、そのセンサ出力に基づいて得られるカメラ位置とランドマークの3次元位置とから導きだされるランドマークの観測予測座標( $P_i$ とする)とは、同一となるはずである。しかし、実際にはセンサ出力に基づいて得られたカメラ位置は正確ではないため、ランドマークの座標 $Q_i$ と観測予測座標 $P_i$ は一致し

ない。この $P_i$ と $Q_i$ のずれは、ランドマーク位置における仮想空間と現実空間の位置ずれを表しており、このために、画像からランドマーク位置を抽出することで、ずれの向きと大きさが算出できる。

【0009】このように、画像上での位置ずれを定量的に計測することにより、位置ずれを解消するようなカメラ位置の補正が可能となる。方位センサと画像を併用する最も単純な位置合わせ方式は、1点のランドマークを用いたセンサ誤差の補正と考えられ、画像上のランドマークの位置ずれに応じてカメラ位置を平行移動または回転させる手法が第1文献によって提案されている。

【0010】第1図に、1点のランドマークを用いた位置ずれ補正の基本的な考え方を示す。以下では、カメラの内部パラメータを既知として、歪みなどの影響を除外した理想的な撮像系によって画像撮像が行われているものと仮定する。カメラの視点位置をC、画像上でのランドマークの観測座標を $Q_i$ 、現実空間のランドマーク位置を $Q_i$ とすると、点 $Q_i$ は点Cと点 $Q_i$ を結ぶ直線 $l_i$ 上に存在する。一方、位置方位センサによって与えられるカメラ位置からは、カメラ座標系におけるランドマーク位置 $P_i$ と、その画像上での観測座標 $P_i$ とが推測できる。以下では、点Cから点 $Q_i$ 、点 $P_i$ への3次元ベクトルを、それぞれ $v_i$ 、 $v_i$ と表記する。この方法では、補正後のランドマークの観測予測座標 $P'_i$ が $Q_i$ に一致するように（すなわち、カメラ座標系における補正後のランドマーク予測位置 $P'_i$ が、直線 $l_i$ に乗るように）、カメラと物体の相対的な位置情報を修正する事によって、位置ずれが補正される。

【0011】ランドマークの位置ずれを、カメラ位置の回転によって補正することを考える。これは、二つのベクトル $v_i$ 、 $v_i$ の成す角 $\theta$ だけカメラが回転するように、カメラの位置情報に修正を加えることにより実現できる。実際の計算では、上記ベクトル $v_i$ 、 $v_i$ を正規化したベクトル $v_{i0}$ 、 $v_{i0}$ を用いて、その外積 $v_{i0} \times v_{i0}$ を回転軸に、内積 $v_{i0} \cdot v_{i0}$ を回転角として、点Cを中心にカメラを回転させる。

【0012】ランドマークの位置ずれを、カメラ位置の相対的な平行移動によって補正することを考える。これは、仮想世界中の物体位置を $v = n(v_i - v_i)$ だけ平行移動させることで実現できる。ここで $n$ は、次式によって定義されるスケールファクタである。

【0013】

【数1】

$$n = \frac{|CP_c|}{|CP_i|}$$

【0014】ここで、 $|AB|$ は点Aと点Bの間の距離を示す記号とする。また、カメラが $-v$ だけ平行移動するようにカメラの位置情報に修正を加えることでも、同様の補正が可能となる。これは、この操作によって、相

対的に仮想物体が $v$ だけ移動したことに等しくなるためである。以上の2つの手法は、ランドマーク上での位置ずれを2次元的に一致させる手法であり、3次元的に正しい位置にカメラ位置を補正することではない。しかし、センサ誤差が小さい場合には十分な効果が期待できるものであり、また、補正のための計算コストは非常に小さなものであり、実時間性に優れた手法である。

【0015】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記文献に示された手法では、唯一のマーカの撮像画像内での位置を捕捉することが必要であるから、そのマーカが常にカメラに撮像されていなくてはならないという制約があるため、ごく限られた範囲の空間しか見ることができなかった。

【0016】ましてや、複数の作業者が共通の複合現実空間を共有する場合には、1つのマーカのみでは上記制約は致命的である。

【0017】

【課題を解決するための手段】本発明はこのような事態に鑑みてなされたもので、その目的は、広い範囲で移動する作業者の特定の作業部位を精度良く捕捉することを可能にした位置姿勢検出装置、方法、さらには、この姿勢検出に基づく複合現実感提示装置を提案することを目的とする。

【0018】上記課題を達成するための、本発明の請求項1にかかる、作業者が所定の複合現実環境内で行う作業を表す3次元仮想画像を生成するために、該作業者の作業位置を検出する位置姿勢検出装置は、該作業者の3次元位置姿勢を計測して、作業者位置姿勢信号を出力する位置姿勢センサと、前記環境内の既知の位置に設けられた第1の複数のマーカを撮像するカメラと、前記カメラからの画像信号を処理して、前記第1の複数のマーカの中の任意のマーカを追跡し、この追跡マーカの座標値を検出する検出手段と、前記検出手段によって得られた前記追跡マーカの座標値と前記位置姿勢センサからの作業者位置姿勢信号とに基づいて、前記作業部位の位置姿勢を表す部位位置姿勢を演算する演算手段とを具備する。

【0019】また、同目的を達成するための本発明の請求項40にかかる、作業者が所定の複合現実環境内で行う作業に関連する3次元仮想画像を生成するために、該作業者の作業位置を検出する位置姿勢検出方法は、該作業者の3次元位置姿勢を計測して位置姿勢信号を出力する工程と、前記環境内の既知の位置に設けられた複数のマーカを撮像するカメラからの画像信号を処理して、少なくとも1つのマーカを追跡して、この追跡マーカの座標を検出する工程と、この追跡マーカの座標と前記位置姿勢信号とに基づいて、前記作業者の頭部の位置姿勢を表す信号を出力する工程とを具備することを特徴とする。

【0020】また同目的を達成するための本発明の請求項46に係る、作業者の作業位置を検出する位置姿勢検出装置は、該作業者の三次元位置姿勢を計測して位置姿勢信号を出力する位置姿勢センサと、前記環境内の既知の位置に設けられた複数のマーカを撮像するカメラと、前記カメラからの画像信号を処理して、前記複数のマーカの中の任意のマーカを追跡し、この追跡マーカの座標値を検出する検出手段と、前記検出手段によって得られた前記追跡マーカの座標値に基づいて、前記位置姿勢センサの出力信号を補正する補正手段とを具備する。

【0021】また、上記課題を達成するための請求項25に係る本発明の複合現実感の提示装置は、既知の位置に配置された第1の複数のマーカを有する作業台と、作業者の頭部姿勢を検出するために作業者に装着される姿勢センサと、前記第1の複数のマーカのうちの少なくとも1つが視野に入るように設定されたカメラと、前記カメラからの画像信号を処理して、前記第1の複数のマーカの中の任意のマーカを追跡し、この追跡マーカの座標値を検出する検出手段と、前記検出手段によって得られた前記追跡マーカの座標値と前記位置姿勢センサからの頭部位置姿勢信号とに基づいて、前記作業者の視点の位置姿勢を表す視点の位置姿勢信号を演算する演算手段と、前記視点の位置姿勢信号に応じた視点位置に、複合現実感を提示するための仮想画像を生成する生成手段とを具備することを特徴とする。

【0022】上記請求項1、25、40及び46の構成に因れば、少なくとも1つのマーカが画像中に捕捉されるので、広い範囲で作業者が移動しても、作業者位置を精度良く補正することが確実となる。本発明の好適な一態様である請求項2に拠れば、前記第1の複数のマーカの内の、1つのマーカと他のマーカとの間の、作業者の前方を横切る方向における距離は、作業者の前方においてより遠方にあるマーカ程、長くなるように設定されている。画像内におけるマーカ間の距離を均等にすることにより、マーカの検出精度を均等にすることができる。即ち、その結果、マーカ特定の精度の低下を防ぐことが可能になる。

【0023】本発明の好適な一態様である請求項8に拠れば、前記第1の複数のマーカの前記環境内における配置分布密度は、作業者の前方のより遠方にあるマーカの分布密度が、より近隣にあるマーカの分布密度よりも低く設定されている。これによっても、マーカ特定の精度の低下を防ぐことが可能になる。本発明の好適な一態様である請求項3に拠れば、複数の作業者が協調作業を行う場合において、同じ作業者のための複数のマーカは同じ表現態様に統一されている。他の作業者のためのマーカと区別が容易となる。

【0024】本発明の好適な一態様に拠れば、前記部位は作業者の頭部である。本発明の好適な一態様である請求項5に拠れば、前記検出手段は、前記カメラが取得し

た画像中において最初に探索したマーカを用いる。本発明では、特定のマーカが追跡され続ける必要はなく、どれか1つのマーカが発見されればよい。この一態様のようにより最初に探索したマーカを用いることによりマーカの探索が容易となる。

【0025】本発明の好適な一態様である請求項6に拠れば、前記検出手段は、前回のシーンの画像において探索されたマーカを今回のシーンの画像中に探索する手段を具備することを特徴とする。連続性が確保される。前記位置姿勢センサは作業者のいずれの部分にも取り付け可能であるが、本発明の好適な一態様である請求項7に拠れば、前記位置姿勢センサは作業者の頭部に設けられると、センサが作業者の視点位置と近接することとなり、HMDへの適用が容易となる。

【0026】本発明の好適な一態様である請求項9に拠れば、前記第1の複数のマーカは、前記カメラの視界内に少なくとも1つが捕捉されるように前記環境内に配置されたことを特徴とする。マーカの配置が、カメラの視界内に少なくとも1つが捕捉されることを確保する。マーカの検出は種々の座標系上で可能である。本発明の好適な一態様である請求項10に拠れば、前記検出手段は、前記追跡マーカの画像座標系での画像座標を検出することを特徴とする。同じく、本発明の好適な一態様である請求項11に拠れば、前記検出手段は、前記追跡マーカのカメラ座標系での座標を検出することを特徴とする。

【0027】本発明の好適な一態様である請求項12に拠れば、前記第1の複数のマーカは前記環境内に配置された平面状のテーブルに描かれたマークである。共同作業がテーブルの上で行われる場合に好適である。本発明の好適な一態様である請求項13に拠れば、前記第1の複数のマーカは前記環境内に三次元的位置に配置されたことを特徴とする。マーカを三次元的に配置しなければならない場合にも対処できる。

【0028】本発明の好適な一態様である請求項14に拠れば、前記検出手段は、追跡マーカを第1の複数のマーカの中から同定する同定手段を有することを特徴とする。同じく、請求項15によれば、前記検出手段は、前記カメラが捉えた画像内に第2の複数のマーカが検出された場合に、その第2の複数のマーカのなかから1つのマーカを選択して追跡する手段を有することを特徴とする。

【0029】また、請求項16によれば、前記同定手段は選択された追跡マーカを画像座標系で同定する。そして、更に、請求項18によれば、前記同定手段は、前記作業者位置姿勢信号に基づいて前記カメラの位置姿勢信号を求め、このカメラの位置姿勢信号により、前記第1の複数のマーカの世界座標系における3次元座標を画像座標値に変換し、この画像座標系における前記第1の複数のマーカの座標と、前記追跡マーカの画像座標値とを



比較することにより、その追跡マーカを同定することを特徴とする一方、請求項17によれば、前記同定手段は、選択された追跡マーカを世界座標系で同定する。そして、請求項19によれば、前記同定手段は、前記作業  
者位置姿勢信号に基づいて前記カメラの位置姿勢信号を求め、このカメラの位置姿勢信号により前記追跡マーカ  
のカメラ座標系における座標を世界座標系の値に変換し、この世界座標系における前記追跡マーカの座標と、  
前記第1の複数のマーカの世界座標系の座標値とを比較することにより、その追跡マーカを同定することを特徴  
とする。

【0030】また、画像座標系を用いる場合には、本発明の好適な一態様である請求項20に拠れば、前記部位は作業者の視点位置であって、前記演算手段は、前記作業  
者位置姿勢信号と、前記同定手段によって同定された追跡マーカの画像座標値と、当該追跡マーカの三次元位置  
を画像座標系に変換した値との誤差距離とに基づいて、作業者の視点位置での位置姿勢信号を求める。位置  
姿勢センサの誤差は上記誤差距離に現れるからである。

【0031】また、世界座標系を用いる場合には、本発明の好適な一態様である請求項21に拠れば、前記部位は作業者の視点位置であって、前記演算手段は、前記作  
業者位置姿勢信号と、前記同定手段によって同定された追跡マーカのカメラ座標系による座標を世界座標系に変換した座標値と、当該追跡マーカの三次元位置との誤差  
距離とに基づいて、作業者の視点位置での位置姿勢信号を求める。

【0032】カメラは1つである必要はない。而して、本発明の好適な一態様である請求項23に拠れば、前記カメラは作業者に装着される複数のユニットを有する。  
追跡マーカの座標がカメラ座標値で検出できるため、位置姿勢センサの誤差の修正を三次元に行うことができる。また、追跡マーカの同定を世界座標系で行えるた  
め、特に、マーカが三次元的に配置された場合にも対処できる。画像座標系での追跡マーカの同定と比べて精度の向上が期待できる。

【0033】

【発明の実施の形態】以下、本発明の、複合現実感の提示手法及びHMDを、エアホッケーゲーム装置に適用した実施形態に係わるシステムを説明する。エアホッ  
ケーゲームは相手の存在する対戦型のゲームであり、通常、下部から圧縮空気を供給してバックを浮かして、このバックを打ち合い、相手のゴールにバックを入れたら  
得点が入る。得点の多い方を勝者とするゲームである。本実施形態のMRを適用したエアホッケーゲームは、仮想のバックを仮想3次元画像として現実環境のテーブル  
の上に重畳表示してプレーヤーに提示して、その仮想バックをプレーヤーに現実のマレットで仮想的に打ち合わせ  
るものである。

【0034】このゲーム装置の特徴は、

①：共通のカメラで複数の作業者に共通の現実世界を撮影し、その共通の画像の中に複数の作業者によって操作される作業用アクチュエータ（本実施形態ではマレット）を特定することによって、1つの複合現実世界を現出させ、複数人で共有可能ならしめる。

②：広範な現実空間内で大きく移動する作業者の視点位置を精度良く検出するために、頭部の位置と姿勢とを検出する磁気センサの他に、カメラを作業者の頭部に装着し、このカメラが、ゲームプレー用テーブルの上に設けられた複数のマーカの中の少なくとも1つのマーカを撮像ならしめ、この撮像されたマーカの画像座標とそのマーカの既知の位置との差異から、上記磁気センサが検出した頭部の位置／姿勢（即ち、作業者の視点の位置及び姿勢）を補正するものである。

【0035】〈ゲーム装置の構成〉第2図は、本実施形態のシステムのゲーム装置部分を側面から見た図である。複合現実感のエアーホッケーゲームは、テーブル1000を挟んで、二人の対戦者2000、3000が手にマレット（260L、260R）をもって向かい合う。二人の対戦者2000、3000は頭部にヘッドマウントディスプレイ（以下HMDと略す）210L、210Rを装着する。本実施形態のマレットは、その先端に赤外線発光器を有している。後述するように、本実施形態では、画像処理によりマレット位置を検出するが、マレットの形状や色に特徴があるのであれば、それらの特徴を用いたパターン認識によるマレット位置の検出も可能である。

【0036】実施形態のHMD210は、第4図に示すようにシースルー型である。両対戦者2000、3000は、HMD210L、210Rを装着していても、テーブル1000の表面を観察することができる。HMD210には後述の画像処理システムから三次元仮想画像が入力される。従って、対戦者2000、3000は、HMD210の光学系（第2図には不図示）を通した現実空間の映像に重ねて、HMD210の表示画面に表示された三次元画像を見ることがとなる。

【0037】第3図は、左側プレーヤ2000が自身のHMD210Lからみた映像を示す。二人のプレーヤ2000、3000は仮想のバック1500を打ち合う。バック1500を打つのはプレーヤ2000（プレーヤ3000）が手に握っている現実のマレット260L（260R）を用いる。プレーヤ2000は手にマレット260Lを握っている。相手プレーヤ3000の直前にはゴール1200Rが見える。後述の画像処理システム（第3図には不図示）は、ゴール1200Rが相手方近傍に見えるように、三次元CGを生成してHMD210Lに表示する。

【0038】対するプレーヤ3000も、HMD210Rを介してプレーヤ3000の近傍にゴール1200Lを見ることとなる。バック1500も後述の画像処理シ

ステムにより生成されて、各々のHMDに表示される。

〈磁気センサ付きHMD〉第4図は、HMD 2 1 0 の構成を示す。このHMD 2 1 0 は、例えば特開平 7 - 3 3 3 5 5 1 号のHMDの本体に、磁気センサ 2 2 0 を支柱 2 2 1 を介して取り付けたものである。図中、2 1 1 はLCD表示パネルである。LCD表示パネルからの光は、光学部材 2 1 2 に入射し、全反射面 2 1 4 にて反射して、凹面ミラー 2 1 3 の全反射面にて反射して、全反射面 2 1 4 を透過して観察者の目に届く。

【0 0 3 9】磁気センサ 2 2 0 は、本実施形態では、Po 10 lhemus社の磁気センサFasttrackを用いた。磁気センサは磁気ノイズに弱いので、プラスチック製の支柱 2 2 1 により、ノイズ発生源である表示パネル 2 1 1 及びカメラ 2 4 0 から離間した。尚、第4図に示したHMDに磁気センサ及び(又は)カメラを取り付ける構成は、光学的シースルー方式の(透視型の)HMDに限られず、ビデオシースルー方式の(遮蔽型の)HMDであっても、磁気センサ及び(又は)カメラを、頭部位置及び姿勢を正確に検出する目的で、そのHMDに装着することは可能である。

【0 0 4 0】第2図において、夫々のHMD 2 1 0 はバンド(不図示)によってプレーヤの頭部に固定される。プレーヤの夫々の頭部には、第4図に示すように磁気センサ 2 2 0 が、第2図に示すようにCCDカメラ 2 4 0 (2 4 0 L, 2 4 0 R) が、それぞれ固定されている。カメラ 2 4 0 の視界はプレーヤの前方方向に設定されている。このような磁気センサ 2 2 0 とカメラ 2 4 0 とを備えたHMDをエアホッケーゲームに用いる場合には、プレーヤはそれぞれテーブル 1 0 0 0 の上面を見ることとなるので、カメラ 2 4 0 もテーブル 1 0 0 0 の表面の 30 画像を撮像する。磁気センサ 2 2 0 (2 2 0 L, 2 2 0 R) は、交流磁界発生源 2 5 0 が発する交流磁界の変化をセンスする。

【0 0 4 1】後述するように、カメラ 2 4 0 が撮影した画像は、磁気センサ 2 2 0 が検出した頭部の位置/姿勢を補正するために用いられる。プレーヤがテーブル 1 0 0 0 の表面を見るために斜め下方を向くと、HMD 2 1 0 を通した視界には、テーブル 1 0 0 0 の表面と、前述の仮想のバック 1 5 0 0、現実のマレット 2 6 0 (2 6 0 L, 2 6 0 R)、仮想のゴール 1 2 0 0 (1 2 0 0 40 L, 1 2 0 0 R) が見える。また、プレーヤが、頭部を、水平二次元平面内において水平移動させ、あるいはティルト運動、ヨー運動、ローリング運動を行わせると、その変化は先ず磁気センサ 2 2 0 によって検出され、併せて、頭部の姿勢変化に伴ってCCDカメラ 2 4 0 が撮像する画像の変化として観測される。即ち、磁気センサ 2 2 0 からの頭部位置を表す信号はカメラ 2 4 0 の画像を画像処理することによって補正される。

【0 0 4 2】〈複数のマーカ〉夫々のプレーヤに把持される夫々のマレット 2 6 0 はその先端に赤外線発光器を

有しており、各マレットのテーブル 1 0 0 0 上の位置(二次元平面位置)は各マレットからの赤外線を検出するCCDカメラ 2 3 0 によって知られる。即ち、カメラ 2 3 0 は各プレーヤの手の位置(マレットの位置)を検出するためにある。マレット位置を検出することにより、本ホッケーゲームの進行を判断することができる。

【0 0 4 3】他方、CCDカメラ 2 4 0 はマーカ画像と呼ばれる画像を出力する。第5図はテーブル 1 0 0 0 上に配置されたマーカの一例を示す。第5図において、○印で示した5つのランドマーク即ちマーカ(1 6 0 0 ~ 1 6 0 4)はプレーヤ 2 0 0 0 の頭部位置を補助的に検出するために用いられるマーカを示し、□印で示した5つのランドマーク即ちマーカ(1 6 5 0 ~ 1 6 5 4)はプレーヤ 3 0 0 0 の頭部位置を補助的に検出するために用いられるマーカを示す。マーカを第5図のように複数配置すると、頭部の位置、特に姿勢によって、どのマーカが見えるかが決まる。換言すれば、各々のプレーヤに装着されたCCDカメラ 2 4 0 が写す画像中におけるマーカを特定し、画像内での位置を検出することにより、プレーヤの頭部姿勢を検出する磁気センサの出力信号の補正を行うことができる。

【0 0 4 4】尚、第5図の○印と□印とは図示のために採用したものであり、その形状に特徴があるわけではなく、任意の形状であってもよい。二人のプレーヤ(2 0 0 0, 3 0 0 0)に対してそれぞれ割り当てられたマーカ群(1 6 0 0 ~ 1 6 0 8)とマーカ群(1 6 5 0 ~ 1 6 5 8)とは、それぞれ、異なる色に着色されている。本実施形態では、左側プレーヤ(#1プレーヤ)のためのマーカは赤色に、右側プレーヤ(#2プレーヤ)のためのマーカは緑色に着色されている。画像処理におけるマーカの区別を容易にするためである。尚、色でなく形状やテクスチャによってマーカを区別することも可能である。

【0 0 4 5】本実施形態の大きな特徴は、マーカを複数配置した点にある。複数配置することによって、プレーヤがテーブル 1 0 0 0 上で本エアホッケーゲームの動作範囲内で行動する限りにおいて、少なくとも1つのマーカがCCDカメラ 2 4 0 の視野内に入ることが保証される。第6図は、プレーヤが頭部を色々と移動した場合において、頭部の移動に伴って、マーカを検出する画像処理範囲が移動する様子が描かれてる。同図に示すように、1つの画像には少なくとも1つのマーカが入っている。換言すれば、マーカの数、マーカ間の間隔等は、テーブル 1 0 0 0 の大きさ、カメラ 2 4 0 の視野角、ゲームの性質に基づくプレーヤの移動範囲の大きさに応じて設定されるべきである。第5図の場合、プレーヤから遠方であればあるほど、広い範囲が視野に入るので、マーカ間の間隔を広くしなければならない。これは、近傍にあるマーカ間の画像中での間隔距離と、遠方にあるマーカ間の画像中での距離とを同じくすることにより、遠方

の視野の画像中に取り込まれるマーカの数を抑えてマーカ検出精度の低下を防止するためである。このようにすることにより、画像中に取り込まれるマーカの密度が遠方マーカでも近隣のマーカでも実質的に等しくすることができ、同じフレーム内に不必要に複数のマーカが撮像されるのを防ぐことができる。

【0046】後述するように、本システムでは、カメラ240L(240R)が得た画像中に少なくとも1つのマーカが存在し、そのマーカを特定できれば十分である。従って、特定のマーカをプレーヤが頭を移動させる間(カメラ240を移動させる間)において追跡し続ける必要はない。

〈MR画像生成システム〉第7図は、第2図に示したゲーム装置における三次元画像の生成提示システムの構成を示す。この画像生成提示システムは、左側プレーヤ2000のHMD210L及び右側プレーヤ3000のHMD210Rの夫々の表示装置に、三次元の仮想画像

(第3図のバック1500, ゴール1200)を出力するものである。三次元仮想画像のための左右の視差画像の生成は、画像生成部5050L, 5050Rに拠って行われる。本実施形態では、画像生成部5050の夫々に米国SiliconGraphics社製のコンピュータシステム「ONYX2」を用いた。

【0047】画像生成部5050は、ゲーム状態管理部5030が生成するバック位置情報等と、2つの補正処理部5040L, 5040Rが生成する補正後の視点位置・頭部方向に関する情報とを入力する。ゲーム状態管理部5030および補正処理部5040L, 5040Rの夫々はコンピュータシステムONYX2により構成された。

【0048】テーブル1000の中央上空に固定されたCCDカメラ230は、テーブル1000の表面を全て視野に納める。カメラ230によって取得されたマレット情報はマレット位置計測部5010に入力される。この計測部5010は、同じく、SiliconGraphics社製「02」コンピュータシステムにより構成された。計測部5010は、二名のプレーヤのマレット位置、即ち、手の位置を検出する。手の位置に関する情報はゲーム状態管理部5030に入力されて、ここで、ゲーム状態が管理される。即ち、ゲーム状態・ゲームの進行は基本的にはマレットの位置によって決定される。

【0049】SiliconGraphics社製コンピュータシステム02により構成された位置姿勢検出部5000は、2つの磁気センサ220L, 220Rの夫々の出力(センサ220自体の位置及び姿勢)を入力して、各プレーヤに装着されたカメラ(240L, 240R)での視点位置(X, Y, Z)及び姿勢(p, r, φ)を検出し、補正処理部5040L, 5040Rに出力する。

【0050】一方、各プレーヤの頭部に固定されたCCDカメラ240L, 240Rはマーカ画像を取得し、こ

のマーカ画像は、夫々、マーカ位置検出部5060L, 5060Rにおいて処理され、夫々のカメラ240の視野に納まっている夫々のプレーヤについての追跡マーカの位置が検出される。追跡マーカ位置に関する情報は補正処理部5040(5040L, 5040R)に入力される。

【0051】尚、マーカを追跡するマーカ位置検出部5060(5060L, 5060R)は02コンピュータシステムにより構成された。

〈マレット位置計測〉第8図乃至第10図は、マレット位置を計測する制御手順を示すフローチャートである。1つの共通カメラでマレットを追跡することにより、複数作業による共通の複合現実感を提示することが可能となる。第8図乃至第10図のフローチャートにより、本実施形態のマレット位置の計測について説明する。

【0052】エアホッケーゲームでは、プレーヤは自身のマレットを他のプレーヤの領域まで進めることはしない。そのために、左側プレーヤ2000(右側プレーヤ3000)のマレット260L(260R)を探索する処理は、第11図に示すように、左側フィールドの画像データIL(画像データIR)に処理を集中すればよい。固定位置にあるCCDカメラ230が取得した画像を第11図に示すように2つの領域に分割することは容易である。

【0053】従って、第8図のフローチャートにおいて、プレーヤ#1(プレーヤ2000)のマレット260Lの探索についてはステップS100で、プレーヤ#2(プレーヤ3000)のマレット260Rの探索についてはステップS200で、夫々の処理が行われる。そこで、便宜上、右側プレーヤのマレットの探索(ステップS200)を例にして説明する。

【0054】先ず、ステップS210で、TVカメラ230が撮像したテーブル1000表面の多値画像を取得する。ステップS212では、その多値画像の右半分の画像データIRについて、サブルーチン「ローカル領域での探索」を施す。「ローカル領域での探索」処理の詳細は第9図に示される。ステップS212で画像座標系でのマレット位置の座標(x, y)が見つかり、ステップS214からステップS220に進み、画像座標系でのマレット位置座標(x, y)を次式に従ってテーブル1000の座標系(第13図を参照)の座標位置(x', y')に変換する。

【0055】

【数2】

$$\begin{bmatrix} hx' \\ hy' \\ h \end{bmatrix} = M_T \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

【0056】ここで、マトリクス $M_T$ は画像座標系とテーブル座標系とをキャリブレーションするための $3 \times 3$

の変換行列で、既知である。ステップS 2 2 0で得られた座標位置 (x', y') (第3図では、(x', y') は「手の位置」としてしめされている) はゲーム状態管理部5 0 3 0に送られる。ローカル領域でマレットが見つからなかったならば、ステップS 2 1 6で「グローバル領域での探索」を行う。「グローバル領域での探索」でマレットが見つかったならば、ステップS 2 2 0でその座標位置をテーブル座標系に変換する。尚、ローカル又はグローバル領域で探索された座標位置は、次のフレームでのローカル領域におけるマレットの探索に用いられる。

【0 0 5 7】第9図はマレットをローカル領域で探索する処理(ステップS 2 1 2の詳細)を示す。但し、この処理は便宜上右側フィールドにおける探索処理を示すが、左側フィールドにおけるマレットの探索処理についても実質的に同様である。ステップS 2 2 2で、次式で定義される大きさ (2 A + 1) × (2 B + 1) 画素の矩形領域を抽出する。

【0 0 5 8】

【数3】  $x = [I_x - A, I_x + A]$

$y = [I_y - B, I_y + B]$

ここで、上記式中の、 $I_x$ ,  $I_y$ は前フレームで検出されたマレットの座標値であり、A, Bは探索領域の大きさを決める定数であって、かかる探索領域は第1 2図のようになる。

【0 0 5 9】ステップS 2 3 0は、ステップS 2 2 2で定義された矩形領域中の全ての画素 (x, y) について、特徴の評価値  $I_s$  (x, y) が一定の条件を満足する画素を抽出する工程である。マレットを探索する目的では、特徴量とは、画素値(赤外光の強度値)の類似度が好適である。本実施形態では、マレットには赤外線発光器を用いているので、その赤外光の強度の特徴を有するものは、一応マレットと判断する。

【0 0 6 0】即ち、ステップS 2 3 2では、類似度  $I_s$  が所定の閾値以上にマレットに近い画素を見つける。そのような画素を見つければ、カウンタNに発生度数の累積値を記憶する。また、そのような画素のx座標値及びy座標値をレジスタSUMx及びSUMyに累積記憶する。即ち、

【0 0 6 1】

【数4】  $N = N + 1$

$SUMx = SUMx + x$

$SUMy = SUMy + y$

とする。ステップS 2 3 0を終了した時点で、第1 2図の領域中でマレットからの赤外光のパターンに類似している全ての画素の個数N、及び座標値の累積値SUMx, SUMyが得られる。N = 0であればステップS 2 3 6で結果“Not Found”が出力される。N > 0であれば、マレットらしいものが見つかったのであり、ステップS 2 3 8で、マレットの位置 ( $I_x$ ,  $I_y$ ) を、

【0 0 6 2】

【数5】

$$I_x = \frac{SUMx}{N}$$

$$I_y = \frac{SUMy}{N}$$

【0 0 6 3】に従って演算する。そして、この演算されたマレット位置 ( $I_x$ ,  $I_y$ ) をステップS 2 2 0 (第8図) でテーブル座標系に変換し、この変換値を「手の位置」を表す信号として管理部5 0 3 0に渡す。第1 0図は、ステップS 2 1 6のグローバル領域探索の詳細手順を示す。第1 0図のステップS 2 4 0で、右側フィールドの画像IR中の、

【0 0 6 4】

【数6】

【0 0 6 5】

{ (x, y) |  $x > 0$ ,  $x < \text{Width}$ ,  $x = nC$ ,  $y > 0$ ,  $y < \text{Height}$ ,  $y = mD$

(ただしn, mは整数) } を満足する画素の中で、特徴の評価値  $I_s$  の最大値をレジスタMaxに記憶する。ここで、C, Dは探索の粗さを決める定数であり、WidthおよびHeightはその定義を第1 5図に示す。即ち、ステップS 2 4 2で、特徴量  $I_s$  が閾値記憶レジスタMaxに記憶されている閾値を超えるか否かを判断する。そのような画素が見つかったならば、ステップS 2 4 4で、その特徴量を新たな閾値とすべく、ステップS 2 4 4で、

【0 0 6 6】

【数7】  $Max = I_s (x, y)$

30  $I_x = x$

$I_y = y$

とする。ステップS 2 4 6では、グローバル探索で見つかった最もマレットらしい画素 ( $I_x$ ,  $I_y$ ) の座標値をステップS 2 2 0に渡す。

【0 0 6 7】このようにして、マレットを画像中で見つけ、その座標値をテーブル座標系に変換したものをゲーム状態管理部5 0 3 0に渡す。

〈ゲーム状態管理〉第1 3図は、本実施形態のエアホッケーゲームのゲームフィールドを示す。このフィールドは、テーブル1 0 0 0の上の2次元平面上に定義され、x, y軸を有する。また、左右の2つの仮想的ゴールライン1 2 0 0 L, 1 2 0 0 Rと、第1 3図の上下方向に設けられた仮想的壁1 3 0 0 a, 1 3 0 0 bとを有する。仮想的ゴールライン1 2 0 0 L, 1 2 0 0 Rと仮想的壁1 3 0 0 a, 1 3 0 0 bとは、その座標値は既知であり、移動することはない。このフィールドの中で、マレット2 6 0 R, 2 6 0 Lの移動に応じて、バック1 5 0 0の仮想画像が移動する。

【0 0 6 8】バック1 5 0 0は、現在位置の座標情報P

50 と速度情報v。とを有し、左マレット2 6 0 Lは現在位

置の座標情報  $P_{s,i}$  と速度情報  $v_{s,i}$  とを有し、右マレット 260R は現在位置の座標情報  $P_{s,i}$  と速度情報  $v_{s,i}$  とを有する。第 14 図は、ゲーム状態管理部 5030 における処理手順を説明するフローチャートである。

【0069】ステップ S10 において、バック 1500 の初期位置  $P_{s,0}$  及び初期速度  $v_{s,0}$  を設定する。尚、バックは速度  $v_s$  で等速度運動を行う。また、バックは、壁又はマレットに当たると完全弾性衝突を行う、即ち、速度方向が反転するものとする。ゲーム状態管理部 5030 は、マレット位置計測部 5010 が計測した各マレットの位置情報  $P_s$  から速度情報  $v_s$  を得る。

【0070】ステップ S12 は、ゲームでの勝敗が決定する（ステップ S50 で一方が 3 点を先取する）迄の間は、 $\Delta t$  時間毎に実行される。すると、ステップ S12 では、バックの位置は、

【0071】

$$【数 8】 P_s = P_{s,0} + v_{s,0} \cdot \Delta t$$

に更新される。初期位置及び初期速度設定後におけるバックの位置は、一般には、

【0072】

$$【数 9】 P_s = P_{s,0} + v_{s,0} \cdot \Delta t$$

で表される。ステップ S14 では、更新されたバック位置  $P_s$  がプレーヤの #1 側（左プレーヤ）のフィールドにあるか否かを調べる。バック 1500 が左プレーヤ側にある場合について説明する。

【0073】ステップ S16 では、現在のバック位置が左プレーヤのマレット 1100L と干渉する位置にあるか否かを調べる。バック 1500 がマレット 1100L と干渉する位置にあるとは、左プレーヤ 2000 がマレット 260L をバックに衝突させるようなマレット操作を行ったことを意味するから、バック 1500 の運動を反転させるために、ステップ S18 で、バック 1500 の速度  $v_s$  の x 方向速度成分  $v_{s,x}$  の符号を反転させて、ステップ S20 に進む。

【0074】尚、単に速度  $v_s$  の x 方向速度成分  $v_{s,x}$  の符号を反転させる代わりに、

【0075】

$$【数 10】 v_{s,x} = -v_{s,x} + v_{s,i,x}$$

として、バックの動作を、バックの x 方向速度  $v_{s,x}$  にマレットの x 方向の操作速度  $v_{s,i,x}$  を重畳して、反対方向に進ませるようにしても良い。一方、現在のバック位置が左プレーヤのマレット 1100L と干渉する位置にない場合（ステップ S16 で NO）には、そのままステップ S20 に進む。

【0076】ステップ S20 では、バックの位置  $P_s$  が仮想壁 1300a 又は 1300b と衝突する位置にあるか否かを調べる。ステップ S20 の判断が YES の場合には、ステップ S22 でバックの速度の y 成分を反転させる。次ぎにステップ S24 で、現在のバック位置が左プレーヤのゴールライン内にあるか否かを調べる。YES

S の場合には、ステップ S26 で相手側のプレーヤ、即ち、右（#2）プレーヤの得点を加算する。ステップ S50 では、いずれかの得点が 3 点以上先取したかを調べる。3 点以上であればゲームを終了する。

【0077】ステップ S14 での判断で、バックの位置  $P_s$  が右プレーヤ側（#2 プレーヤ側）にある場合には、ステップ S30 以下を実行する。ステップ S30 ～ステップ S40 は、ステップ S16 ～ステップ S26 と実質的に動作は同じである。かくして、ゲームの進行状態は管理される。ゲームの進行状態は、バックの位置、マレットの位置であり、前述したように、画像生成部 5050（5050L, 5050R）に入力される。

【0078】〈頭部位置の補正〉第 16 図は、補正処理部 5040（5040L, 5040R）における処理の制御手順の全体を示す。補正処理部 5040 における補正とは、磁気センサ 220 の出力は誤差を伴うものであり、そのような出力に基づいて計測部 5000 が演算した視点位置データ及び頭部姿勢データを、CCD カメラ 240 から得られた画像中のマーカ位置に基づいて補正する処理をいう。即ち、この補正処理は、カメラ 240 が取得した画像中のマーカ位置から、カメラ 240 の位置（頭部の位置に密接に関連するものでもある）の補正值を求め、その補正值を用いて、視点のビューイング変換行列を変更する。変更されたビューイング変換行列は補正された視点の位置及び姿勢データを表すものであり、換言すれば、この補正されたビューイング変換行列は補正された視点位置での仮想画像を与える。

【0079】第 26 図は、第 1 実施形態における観察者の視点位置／姿勢の補正の原理を説明する。ここで、実施形態における観察者の視点位置／姿勢の補正とは、補正されたビューイング変換行列を求めることと等値である。第 26 図において、プレーヤのカメラ 240 がマーカ 1603 を画像 300 に捉えているとする。マーカ 1603 の位置はこの画像 300 内では画像座標系で例えば  $(x_o, y_o)$  と表される。一方、画像 300 が捉えているマーカが 1603 であることが分かれば、そのマーカ 1603 の世界座標系での座標  $(X_o, Y_o, Z_o)$  は既知である。 $(x_o, y_o)$  は画像座標値であり  $(X_o, Y_o, Z_o)$  は世界座標であるから、これらの座標同士を比較することはできない。第 1 実施形態では、磁気センサ 220 の出力からカメラ 240 のビューイング変換行列  $M_c$  を求め、世界座標系での座標  $(X_o, Y_o, Z_o)$  をこのビューイング変換行列  $M_c$  を用いて画像座標系の座標  $(x_o, y_o)$  に変換する。そして、 $(x_o, y_o)$  と  $(x_o, y_o)$  との誤差が磁気センサ 22 の出力の誤差を表現するものであるから、これを補正する補正行列  $\Delta M_c$  を求める。

【0080】尚、第 26 図から明らかなように、画像 300 内に捉えられたマーカがマーカ 1603 であることを特定する必要があるが、第 1 実施形態では、後述する

ように、全てのマーカの世界座標系での三次元位置を上記ビューイング変換行列 $M_c$ により画像座標系に変換して、変換後のカメラ座標値が上記 $(x_0, y_0)$ に最も近いマーカを画像300内に捉えられたマーカと特定する。この処理は第19図及び第20図によって説明されるであろう。

【0081】第16図に従って補正処理部5040の処理手順を詳細に説明する。即ち、ステップS400では、磁気センサ220の出力に基づいて、カメラ240のビューイング変換行列 $(4 \times 4)$ を計算する。ステップS410では、ステップS400で求めたビューイング変換行列と、カメラ240の理想的透視変換行列（既知）と、各マーカの三次元位置（既知）とに基づいて、各マーカが観測されるべき位置座標（画像座標系での）を予測する。

【0082】一方、マーカ位置検出部5060（5060L, 5060R）は、プレーヤの頭部に取り付けられたカメラ240（240L, 240R）から得た画像中でマーカを追跡している。マーカ位置検出部5060は、検出したマーカ位置を、補正処理部5040（ステップS420において）に渡す。補正処理部5040（5040L, 5040R）は、ステップS420において、渡されたマーカ位置情報に基づいて、現在観測しているマーカ、即ち補正の基準となるマーカを判別する。ステップS430では、ステップS410で演算されたマーカの予測座標値とマーカ位置検出部5060が検出したマーカの観測座標値との差異に基づいて、磁気センサ220が検出したカメラ240の位置姿勢を補正するための補正行列 $\Delta M_c$ を求める。カメラ240の位置姿勢の補正ができるのは、マーカ位置検出部5060が観測したマーカ（第26図の例ではマーカ1603）の座標値と磁気センサが検出した頭部位置に基づくマーカ座標とは、センサ出力が正確であれば一致している筈であるから、ステップS430で演算する上記の差異は磁気センサ220の誤差を反映するからである。カメラの位置姿勢と視点の位置姿勢との相対関係は既知であり、その関係は三次元座標変換で表される。従って、このカメラの位置姿勢の補正行列 $\Delta M_c$ に基づいて、ステップS440で、ステップS400で演算した視点のビューイング変換行列を補正し、この補正された変換行列を画像生成部5050（5050L, 5050R）に渡す。

【0083】第17図はマーカ位置検出部5060における、マーカの位置検出のための処理手順である。ステップS500では、カメラ240が取得したカラー画像を取り込む。その後、ステップS502では、「ローカル領域探索」を、ステップS506では「グローバル領域探索」を行って、画像座標系によって表されたマーカ位置 $(x, y)$ を検出する。ステップS502の「ローカル領域探索」、ステップS506の「グローバル領

域探索」は、手順としては、マレット探索における「ローカル領域探索」（第9図）、「グローバル領域探索」（第10図）に実質的に同じであるので、この「ローカル領域探索」（第9図）と「グローバル領域探索」（第10図）とを援用することとし、図示を省略する。但し、援用された制御手順（ステップS232）における、マーカ探索のための特徴量 $I_r$ として、プレーヤ#1（左）について、注目画素の画素値の、

【0084】

【数11】

$$\frac{R}{(G+B)/2}$$

【0085】を用いる。プレーヤ#1については、マーカ（1600～1604）には赤色を用いているので、この特徴量は赤らしさの程度を表す。また、プレーヤ#2（右）については緑色のマーカ（1650～1654）を用いているので、

【0086】

【数12】

$$\frac{G}{(R+B)/2}$$

【0087】を用いる。また、グローバル探索における特徴量 $I_r$ 、 $(x, y)$ についても上記2つの量を用いる。ステップS502及びステップS506で得られたマーカの座標値は、ステップS510で、歪みを補正するための行列 $M$ （例えば $3 \times 3$ の大きさを有する）を用いて歪みのない理想的な画像座標系に変換する。この時の変換式は、

【0088】

【数13】

$$\begin{bmatrix} hx' \\ hy' \\ h \end{bmatrix} = M \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

【0089】である。次に、第16図のステップS410の処理の詳細について第18図を用いて説明する。前述したように、ステップS400では世界座標系からカメラ座標系への変換行列 $M_c$ （ $4 \times 4$ のビューイング変換行列）が得られている。一方、カメラ座標系から画像座標系への変換行列 $P_c$ （ $4 \times 4$ ）も既知の値として与えられている。また、注目するマーカの三次元座標位置 $(X, Y, Z)$ も既知として与えられている。

【0090】即ち、角度 $r$ をカメラ240の位置での $Z$ 軸方向の回転(roll)とし、角度 $p$ をカメラ240の位置での $X$ 軸方向の回転(pitch)とし、角度 $\phi$ をカメラ240の位置での $Z$ 軸方向の回転(yaw)とし、カメラ240の位置を $(X_0, Y_0, Z_0)$ すると、カメラ240のビ

ューイング変換行列（即ち、世界座標系からカメラ座標系への変換行列） $M_c$ は、

【0091】

【数14】

$$M_c = \begin{bmatrix} \cos r & -\sin r & 0 & 0 \\ \sin r & \cos r & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos p & -\sin p & 0 \\ 0 & \sin p & \cos p & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \cos \phi & 0 & \sin \phi & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \phi & 0 & \cos \phi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -X_0 \\ 0 & 1 & 0 & -Y_0 \\ 0 & 0 & 1 & -Z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

【0092】であり、 $d$ をカメラ240の焦点距離、 $w$ をカメラの撮像面の幅、 $h$ を同じく高さとする、カメラ座標系から画像座標系への変換行列 $P_c$ は、

【0093】

【数15】

$$P_c = \begin{bmatrix} d/w & 0 & 0 & 0 \\ 0 & d/h & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

【0094】で表される。従って、第18図のステップS520（即ち第16図のステップS410）では、注目マーカの座標位置（ $X$ 、 $Y$ 、 $Z$ ）を、次式に従って、画像面上での位置（ $x_h$ 、 $y_h$ 、 $z_h$ ）に変換する。

【0095】

【数16】

$$\begin{bmatrix} x_h \\ y_h \\ z_h \\ 1 \end{bmatrix} = P_c \cdot M_c \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}$$

【0096】ステップS522では、画像座標系におけるマーカの観測予測座標値 $x$ 、 $y$ として、

【0097】

【数17】

$$x = \frac{x_h}{z_h},$$

$$y = \frac{y_h}{z_h}$$

【0098】を得る。かくして、ステップS410により、各マーカ $i$ の画像座標系での観測予測座標値（ $x_i$ 、 $y_i$ ）を得ることができる。次に、ステップS420における「マーカ判別」の処理を説明する。第19図は、テーブル1000上において、一方のプレーヤ

のカメラ240が画像600を取得した場合を示す。

【0099】テーブル1000上に設けられているマーカを、例えば $M_1 \sim M_7$ とし、 $\Delta$ 印で表す。このマーカの三次元位置 $M_i$ は既知である。画像600内には、マーカ $M_1$ 、 $M_3$ 、 $M_6$ 、 $M_7$ が含まれている。一方、各マーカ $M_i$ の観測予測位置はステップS520で求められたものであり、それを $P_i$ とする。また、 $Q$ は、マーカ位置検出部5060が検出し、検出部5060から渡されたマーカ位置を示す。

10 【0100】ステップS420の「マーカの判別」は、マーカ位置検出部5060が検出したマーカ位置 $Q$ が、どの $P_i$ （即ち、どの $M_i$ ）に対応するかを判断するものである。第19図において、ベクトル $e_i$ を、検出されたマーカ位置 $Q$ から各マーカの予測位置 $P_i$ に向かうベクトルの長さ、即ち、距離を表すものとする。ステップS420の詳細を第20図に示す。即ち、第20図の処理は、画像6000内に入るマーカ $i$ （ $i=0 \sim n$ ）の距離 $e_i$ のうち、最小値を示すマーカを探索し、そのマーカの識別子 $i$ を出力するものである。即ち、

20 【0101】

【数18】

$$i: \text{Min}\{e_i\}$$

【0102】である。第19図の例では、 $P_i$ 間での距離 $e_i$ が一番短いので、マーカ $M_3$ を磁気センサ出力の補正に用いるデータとする。かくして、プレーヤがどのように移動しても、その活動範囲（フィールド）内では、カメラ240は少なくとも1つのマーカを画像中に捉えるので、従来のように、フィールドの大きさを狭く限定する必要がなくなる。

30 【0103】次に、ステップS430では、第1図において説明した処理と同じであって、式18に基づいて得られた誤差距離 $e_{a,i}$ に基づいて、カメラの位置方位の補正を表す変換行列 $\Delta M_c$ を求める。一方、ステップS432では、磁気センサ出力に基づいて、プレーヤの視点位置でのビューイング変換行列 $M_v$ を求める。また、 $M_v$ をカメラ座標系から視点座標系への変換行列（既知である）とすると、ステップS440では、この $M_v$ を用いて、次式によって補正後の視点のビューイング変換行列 $M_v'$ を導出する。

40 【0104】

【数19】

$$\Delta M_v = M_{vc} \cdot \Delta M_c \cdot M_{vc}^{-1}$$

$$M_v' = \Delta M_v \cdot M_v$$

【0105】尚、第26図から明らかであり、また後述の第2実施形態からも明らかになることであるが、第1実施形態（第16図の処理）では、画像座標系に変換して、誤差距離 $e$ を求めたが、反対に世界座標系に変換して誤差距離 $e$ を求めても同じように補正後の視点のビュー

ューイング変換行列を得ることができる。

〈頭部位置の検出精度の向上〉…第2実施形態

上記第1実施形態では、HMD 210L (210R) には前方モニタ用の1つのカメラ240L (240R) が設けられていた。このカメラ240により取得されたテーブル1000上のマーカの画像を、処理部5060が処理して、画像中のマーカを特定(ステップS420)して、プレーヤの頭部の姿勢、即ち、頭部に装着されたカメラの姿勢、換言すれば、この姿勢を有するカメラによるビューイング変換を表す行列を決定するというものであった。しかしながら、第1実施形態では画像座標系での誤差のみを利用しているため、カメラとマーカの位置関係に三次元的なずれが残ってしまう。

【0106】また、複合現実感を提示するための用途によっては、マーカが3次元空間の任意位置におかれる場合もあり、このような場合は第1実施形態での第16図に示されたマーカの同定手法は信頼性が低くなる。次に提案する第2実施形態は、この三次元的なずれの問題を解消する。即ち、一人のプレーヤに2台のカメラを装着してマーカの検出を世界座標系で行うことで、上記の問題を解消する。また、第2実施形態は、マーカが平面上に配置されなくてはならないという拘束も緩和する。

【0107】具体的には、2つのカメラが左右に配置装着された2台のHMDを二人のプレーヤに用いるものである。即ち、第21図に示すように、プレーヤ2000 (3000) のHMD 210L (210R) には、2台のカメラ240LR, 240LL (240RR, 240RL) を装着し、このカメラ240LR, 240LL (240RR, 240RL) から得たステレオ画像から、カメラ240LR, 240LL (240RR, 240RL) の姿勢を補正するものである。

【0108】尚、第2実施形態のシステムは、マーカが3次元的に配置された場合にも対処できるものであるが、第1実施形態の処理手順との異同を明瞭にするために、第1実施形態と同じく、平面上に配置された複数のマーカを用いるエアホッケーゲームに適用する。第22図は、第2実施形態に関わる画像処理システムの一部を示す。即ち、第22図は、第1実施形態の画像処理システム(第7図)のうちの変更部分を示す。即ち、第7図と第22図とを対比すると、第2実施形態の画像処理システムは、各プレーヤに2台のカメラが設けられている点のほかに、マーカ位置検出部5060L' (5060R') と、補正処理部5040L' (5040R') とを有する点で第1実施形態と異なるものの、第2実施形態のマーカ位置検出部5060L' (5060R') と、補正処理部5040L' (5040R') は第1実施形態のマーカ位置検出部5060L (5060R) と、補正処理部5040L (5040R) とソフトウェアの処理において異なっていないに過ぎない。

【0109】第23図は、第2実施形態の処理手順のう

ちの特に左側プレーヤ2000のための制御手順を示し、特に、第1実施形態の第16図の制御手順に対応する部分であって、マーカ位置検出部5060' と位置・姿勢検出部5000と補正処理部5040L' との連係動作を説明する。第23図に於いて、第1実施形態と同じところの位置・姿勢検出部5000は、ステップS398で磁気センサ220Lの出力に基づいて、視点のビューイング変換行列を算出する。ステップS400' では、磁気センサ220Lの出力に基づいて、カメラ240LRのビューイング変換行列の逆行列を算出する。この変換行列は補正処理部5040' に送られる。

【0110】2台のカメラ240LL (240LR) からの画像はマーカ位置検出部5060L' に送られる。即ち、ステップS402では、検出部5060' が右側カメラ240LRからの画像R中にマーカ画像 $m_R$ を抽出する。抽出されたマーカの座標(即ち、観測座標)を $I_{R,i}$ で表す。ステップS404では、検出部5060' が右側カメラ240LRからの画像L中に対応マーカ画像 $m_L$ を抽出する。抽出されたマーカの座標を $I_{L,i}$ で表す。マーカ画像 $m_R$ とマーカ画像 $m_L$ とは本来同じマーカ $m_i$ のものであるから、ステップS406では、観測された1組のマーカ座標( $I_{R,i}$ ,  $I_{L,i}$ )から、三角測量の原理に基づいて、カメラ240LRの座標系における抽出された観測マーカの三次元位置 $C_i$ を導出する。

【0111】尚、ステップS404では、一般的なステレオ視による手法を用いてマーカ画像 $m_L$ の対応点探索を行うが、処理を高速に行うために、周知のエピポーラ拘束epipolar bindを用いて探索範囲を限定してもよい。第23図のステップS410', ステップS420', ステップS422, ステップS430' は補正処理部5040L' における処理を示す。

【0112】まず、ステップS410' では、観測されたマーカのカメラ座標系における三次元位置 $C_i$ を、ステップS400' において導出された透視変換行列を用いて、世界座標系の三次元位置 $W_i$ に変換する。ステップS420' では、全てのマーカ $m_i$ の世界座標系における三次元位置 $W_{i,j}$ (既知)を所定のメモリから取り出して、個々のマーカ $m_i$ と観測マーカ $m_i$ とのユークリッド距離 $|W_{i,j} - W_i|$ を最小とするような $W_{i,j}$ を決定する。即ち、観測マーカ $m_i$ 最も近い位置にある既知のマーカを同定する。

【0113】 $W_{i,j}$ と $W_i$ とは本来的には同じ位置ではあるが、センサの誤差によって誤差ベクトルD(第1実施形態のeに相当)が発生しているものである。そこで、ステップS420' では、観測された(追跡された)マーカの3次元座標(世界座標)に最も近い座標値 $W_{i,j}$ を有するマーカを決定し、ステップS430' では、観測マーカと決定されたマーカとの距離差ベクトルDを、

【0114】

【数20】 $D = W_{i,j} - W_i$



により演算して、カメラ位置をこのベクトル量だけ移動させるための変換行列 $\Delta M_c$ を求め、ステップS440'では、第1実施形態と同じ手法で視点のビューイング変換行列を補正する。

【0115】かくして、本発明は、2台のカメラを装着したHMDを用いることにより、観測マーカの位置検出を三次元的に行うことができ、このために、より正確な視点の位置姿勢が検出可能となり、MRの仮想画像と実画像とのつながりが滑らかとなる。

〈変形例1〉本発明は上述の第1実施形態や第2実施形態にのみ適用されるものではない。

【0116】上記第1実施形態では、画像中にマーカを検出する処理は、第17図に示すように、最初に見つかったものを追跡対象のマーカとしていた。そのために、例えば、第24図に示すように、あるフレームでマーカM<sub>1</sub>を含む画像800が得られた場合に、その後のフレームの画像領域810には、マーカが領域810の端部ではあるがその領域810内に含まれている場合には、マーカM<sub>i</sub>を補正処理の基準用のマーカとして決定することに不都合はない。しかし、その後のフレームで、例えば画像820が得られ、その領域内にはマーカM<sub>i</sub>が外れ、代わりにマーカM<sub>j</sub>を含む場合には、補正のための基準マーカはそのマーカM<sub>i</sub>に変更せざるを得ない。このようなマーカの変更は追跡に失敗した場合にも必要となり、位置ずれの補正には、新たに追跡されたマーカが利用される。

【0117】このように補正に使用するマーカを切り替えることの問題点として、その切り替わりの際に、補正値の急激な変化が原因となって、仮想物体が不自然に移動してしまう場合がある。そこで、補正値の時間的整合性を保つために、前フレームまでの補正値を次の補正値の設定に反映させることを変形例として提案する。

【0118】即ち、あるフレームでの補正値（世界座標系での平行移動を表す3次元ベクトル）を $v_t$ 、前フレームでの補正値を $v_{t-1}$ としたとき、次式で求められる $v_t$ を新たな補正値とする。

【0119】

【数21】

$$v_t = \alpha \cdot v_{t-1} + (1 - \alpha) \cdot v_t$$

【0120】ここで $\alpha$ は、過去の情報の影響の度合いを定義する $0 \leq \alpha < 1$ の定数である。上記式の意味するところは、前フレームでの補正値 $v_{t-1}$ に拠る寄与度を $\alpha$ とし、今回のフレームで得られた補正値 $v_t$ を $(1 - \alpha)$ の寄与度で用いるというものである。このようにすることにより、補正値の急激な変化が緩和され、三次元仮想画像の急激な変化（不自然な移動）が解消する。新たな補正値 $\alpha$ を適当な値に設定することで、マーカの切り替わりによる不自然な物体の移動を防ぐことができる。

【0121】〈変形例2〉上記実施形態では、画像中にマーカを検出する処理は、第17図に示すように、ローカル探索でマーカを発見できなかった場合、前回のフレームでのマーカの位置に関わらず、全画面中で最も類似度の高い点を追跡対象のマーカとしていた。ここで、マーカの探索を、前のフレームで見つかったマーカの位置を中心にして、マーカ探索を行う変形例を提案する。これは、プレーヤの移動に伴う画像フレームの移動があっても、マーカは前フレームに存在した位置から大きくずれていない位置に存在する可能性が高いからである。

【0122】第25図は、前回のフレームにおいて見つかったマーカを今回のフレームに探索する原理を説明する。このような探索経路で探索を行い、ある閾値以上の類似度を持つ点を見つけたら、この点を追跡対象のマーカとするのである。

〈変形例3〉上記実施形態は光学式HMDを用いたものであったが、本発明は光学式HMDの適用に限定されるものではなく、ビデオシースルー方式のHMDにも適用可能である。

【0123】〈変形例4〉上記実施形態は、エアホッケーゲームに適用したものであったが、本発明はエアホッケーゲームに限られない。本発明は、複数人の作業（例えばマレット操作）を、1つのカメラ手段により撮像して捉えるので、その複数人の作業を1つの仮想空間に再現することが可能である。従って、本発明は、2人以上の作業者を前提とした協調作業（例えば、複数人による設計作業のMRプレゼンテーション、あるいは複数人の対戦型ゲーム）の実施例にも好適である。

【0124】本発明の、複数のマーカに基づいた頭部姿勢位置を補正する処理は、複数人の協調作業にのみ好適であることはない。一人の作業（あるいはプレーヤ）に複合現実感を提示するシステムにも適用可能である。

〈他の変形例〉第2実施形態では、2台のカメラを用いていたが、3台以上のカメラを用いてもよい。

【0125】前述したように、マーカはプレーヤのカメラ240の少なくとも1つ捉えられれば十分である。マーカの数が多すぎると、画像に捕捉されるマーカの数が多くなり、第16図のS430や第23図のS430'の追跡マーカの同定処理で、マーカを誤って同定してしまう可能性が高くなる。従って、作業がカメラ240の移動をある程度規制できるものであれば、そのカメラに常に1つのマーカだけが捕捉されるように、マーカ数を少なくすることも可能である。

【0126】また、前述の実施形態としての位置姿勢検出装置は、プレーヤの視点位置での補正されたビューイング変換行列を出力するものであったが、本発明はこれに限定されず、プレーヤの視点位置を補正された値

(X, Y, Z, r, p,  $\phi$ )の形式で出力する装置にも適用できる。また、マーカは、上述のシステムがマーカ若しくはマークとして認識できるものであれば、いかな

る形状を有してもよく、また、マークではなく、ものであってもよい。

#### 【 0 1 2 7 】

【発明の効果】以上説明したように本発明の位置姿勢検出装置および位置姿勢検出方法に因れば、複数のマークをカメラにより撮像するので、少なくとも1つのマークがその画像中に取得されることとなる。そのために、作業者が広い作業範囲又は広い移動範囲において移動しても、作業者の頭部位置を追跡できる。特に、広範囲での複合仮想現実感の提示を可能にするという特別の効果を得られる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図 1】 従来技術において、および本発明の実施形態に適用されている、カメラ位置の補正の原理を説明する図。

【図 2】 本発明の実施形態に用いられているゲーム装置の構成を示す側面図。

【図 3】 第 2 図のゲーム装置で左側プレーヤの視界に見えるシーンを説明する図。

【図 4】 第 2 図のゲーム装置に用いられている HMD 20

【図 5】 第 2 図のゲーム装置のテーブルに設けられたマークの配置を説明する図。

【図 6】 第 5 図のテーブル上で、プレーヤの移動につれて、プレーヤの頭部に装着されたカメラに捉えられる画像中に含まれるマークの変遷を説明する図。

【図 7】 実施形態のゲーム装置のための、三次元画像生成装置の構成を説明する図。

【図 8】 実施形態のマレット位置計測部に因る処理手順を説明するフローチャート。

【図 9】 実施形態のマレット位置計測部に因る処理手順の一部サブルーチン（ローカル探索）を説明するフローチャート。

【図 10】 実施形態のマレット位置計測部に因る処理

手順の一部サブルーチン（グローバル探索）を説明するフローチャート。

【図 11】 第 8 図のフローチャートの処理において用いられる処理対象領域の分割を説明する図。

【図 12】 第 8 図のフローチャートの処理において用いられる対象領域の設定手法を示す図。

【図 13】 本実施形態のゲームにおける仮想ゲームフィールドの構成を説明する図。

【図 14】 実施形態のゲーム状態管理部におけるゲーム管理の制御手順を説明するフローチャート。

【図 15】 マレット検出ための手法を説明する図。

【図 16】 実施形態における補正処理部の処理手順を全体的に説明するフローチャート。

【図 17】 第 16 図のフローチャートの一部（マークの追跡）を詳細に説明するフローチャート。

【図 18】 第 16 図のフローチャートの一部（マーク位置の予測）を詳細に説明するフローチャート。

【図 19】 補正のために使用される基準となるマークの検出の原理を説明する図。

【図 20】 基準となるマークの検出の原理を説明するフローチャート。

【図 21】 第 2 の実施形態に用いられる HMD の構成を示す図。

【図 22】 第 2 実施形態の画像処理システムの主要の構成を示すブロック図。

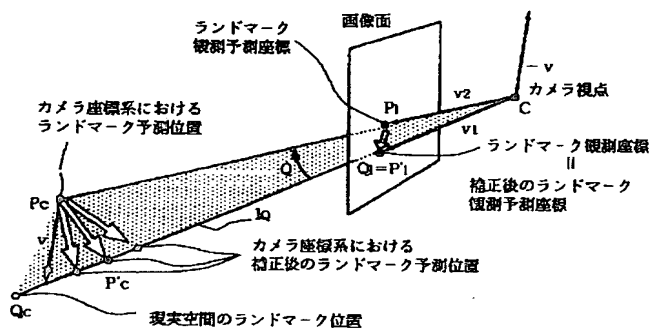
【図 23】 第 2 実施形態の画像処理システムの制御の一部を示すフローチャート。

【図 24】 実施形態の変形例に適用される基準マークの変遷を説明する図。

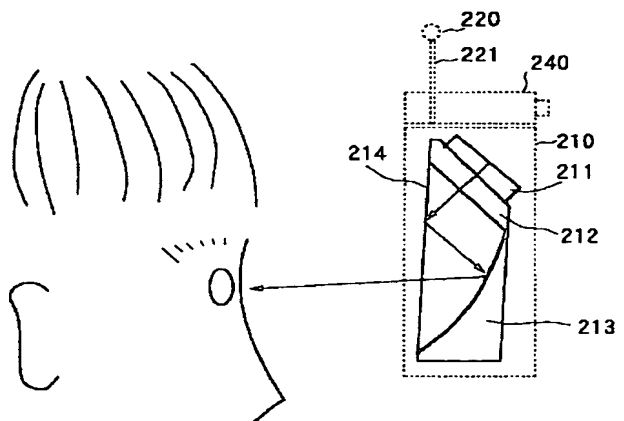
30 【図 25】 実施形態の変形例に適用されるマーク探索の原理を説明する図。

【図 26】 第 1 実施形態の補正処理の原理を説明する図。

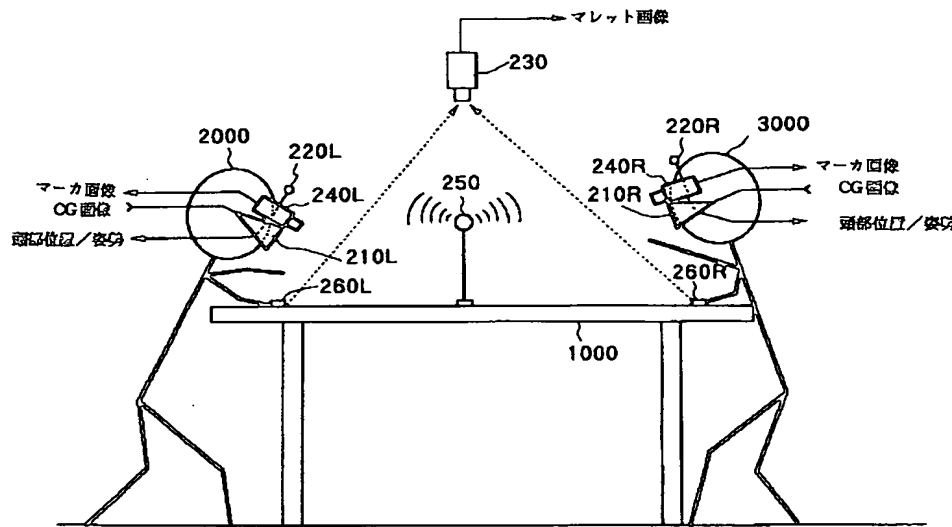
【図 1】



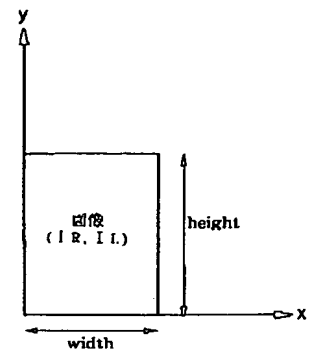
【図 4】



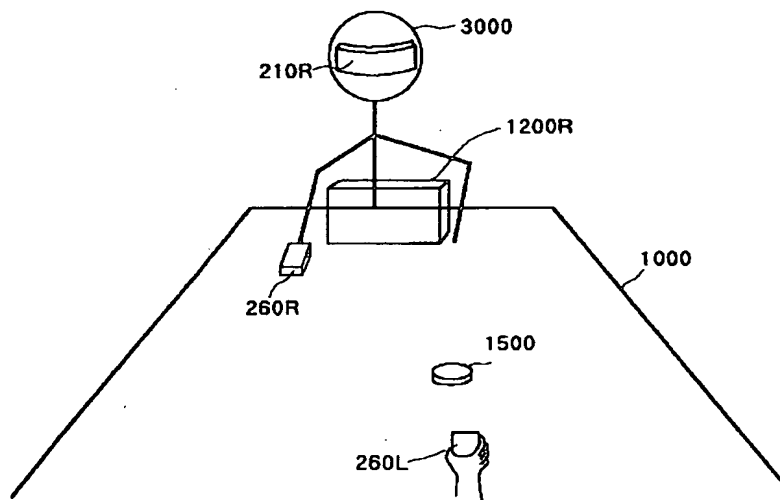
【図 2】



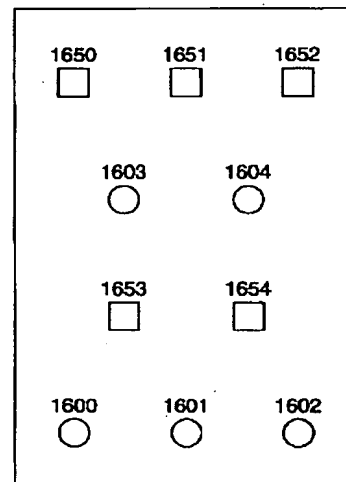
【図 15】



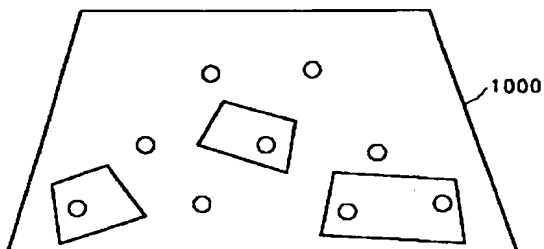
【図 3】



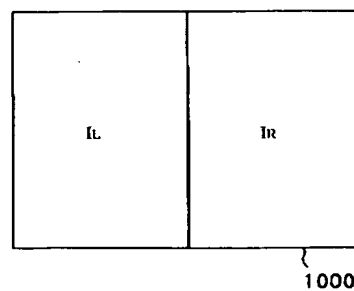
【図 5】



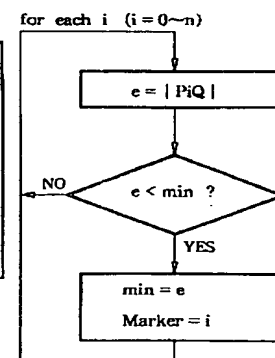
【図 6】



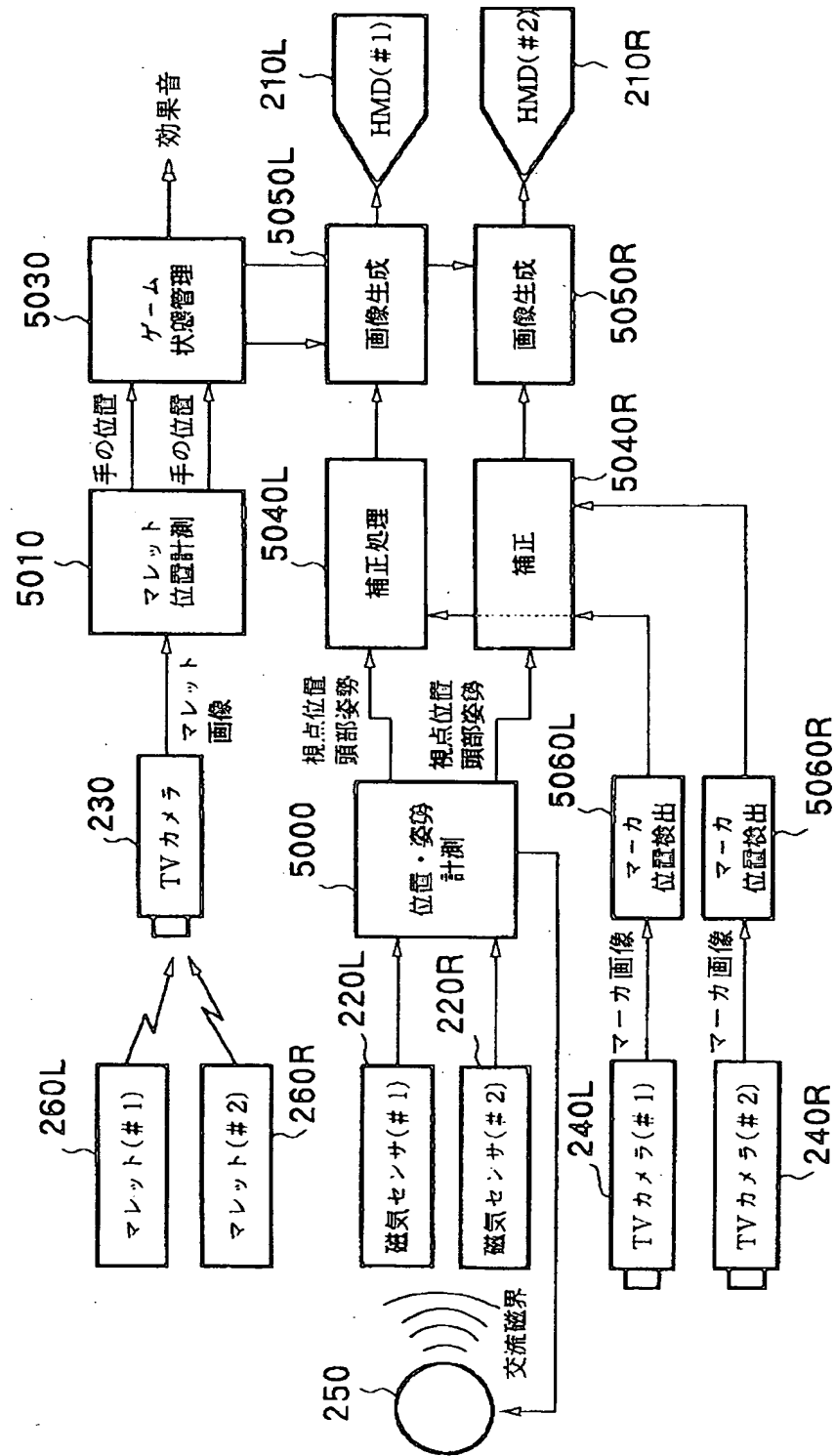
【図 11】



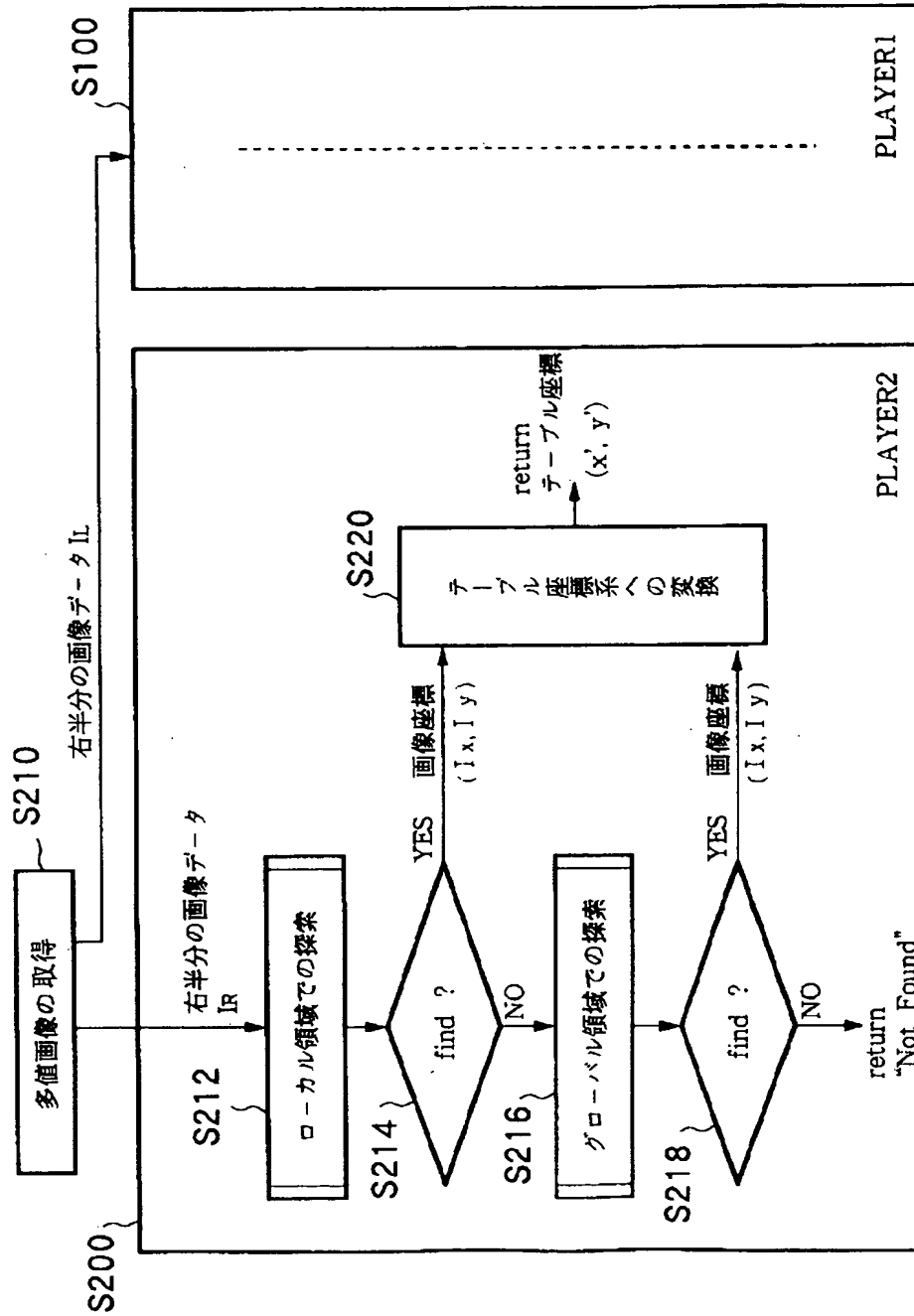
【図 20】



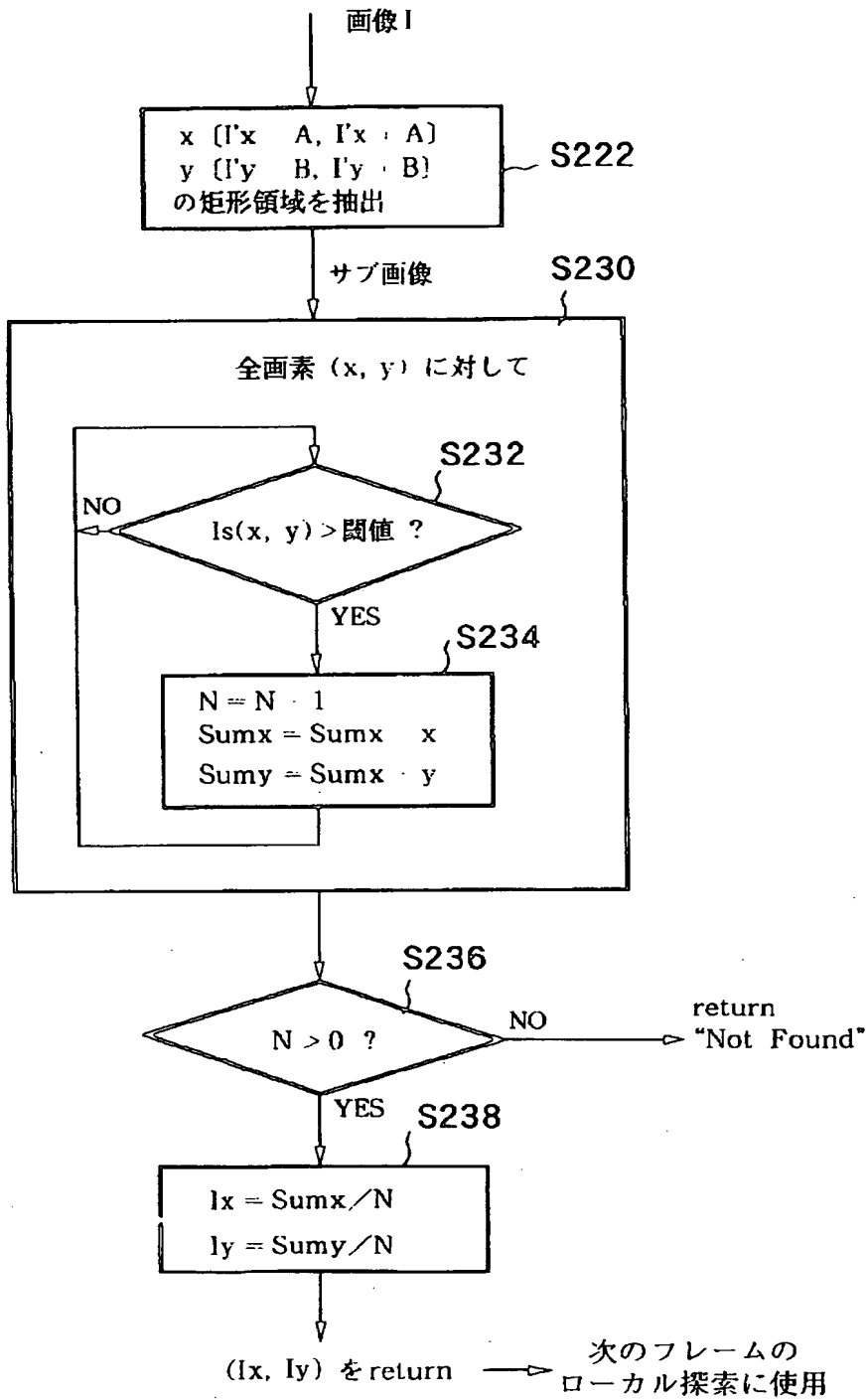
【図 7】



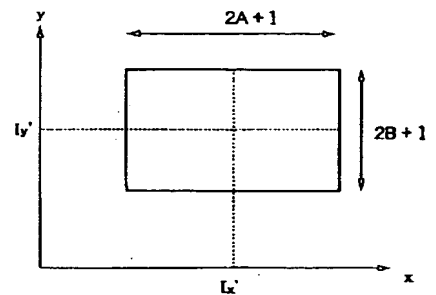
【図 8】



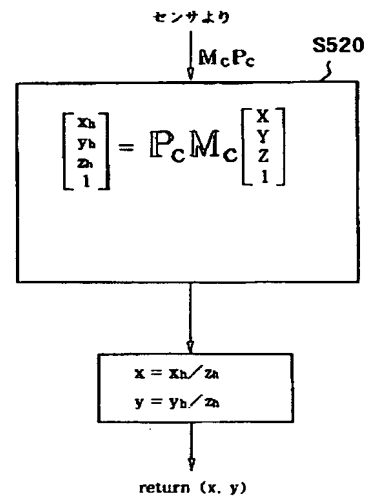
【図9】



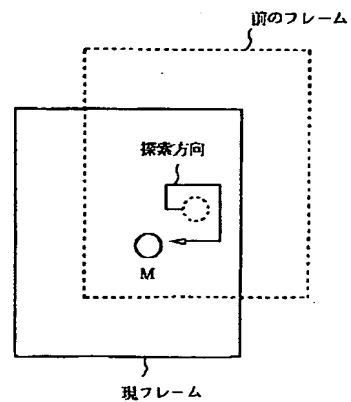
【図12】



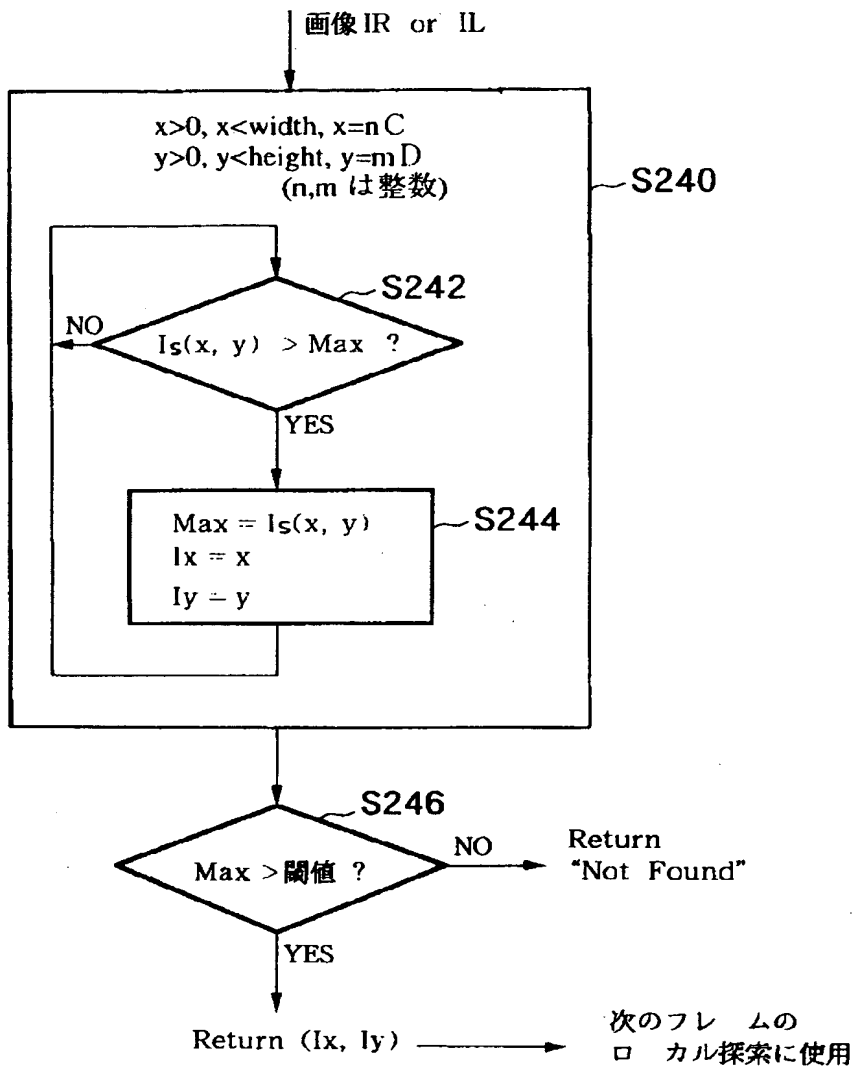
【図18】



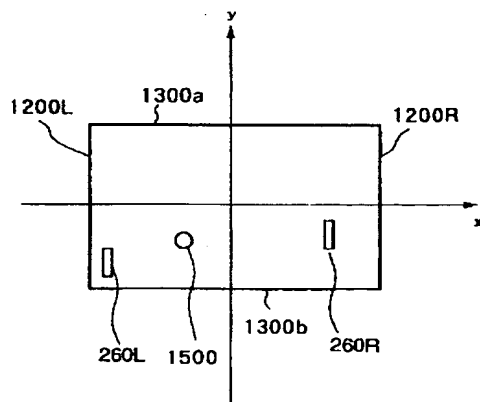
【図25】



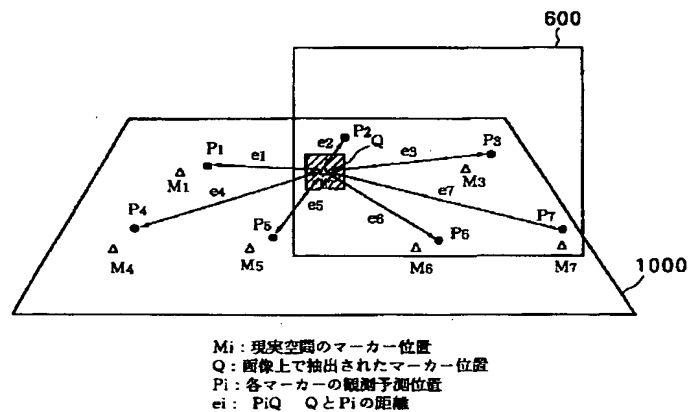
【図 10】



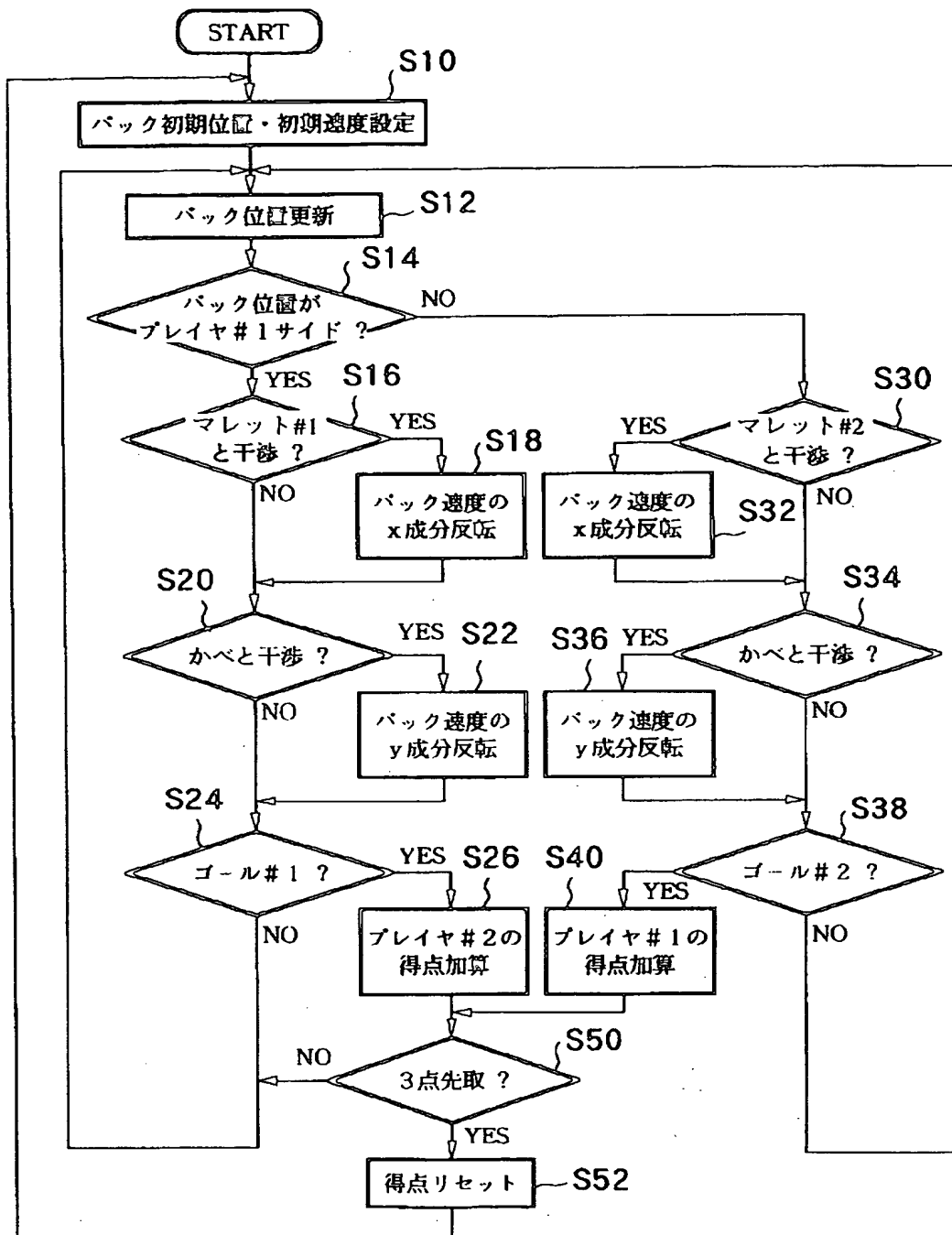
【図 13】



【図 19】

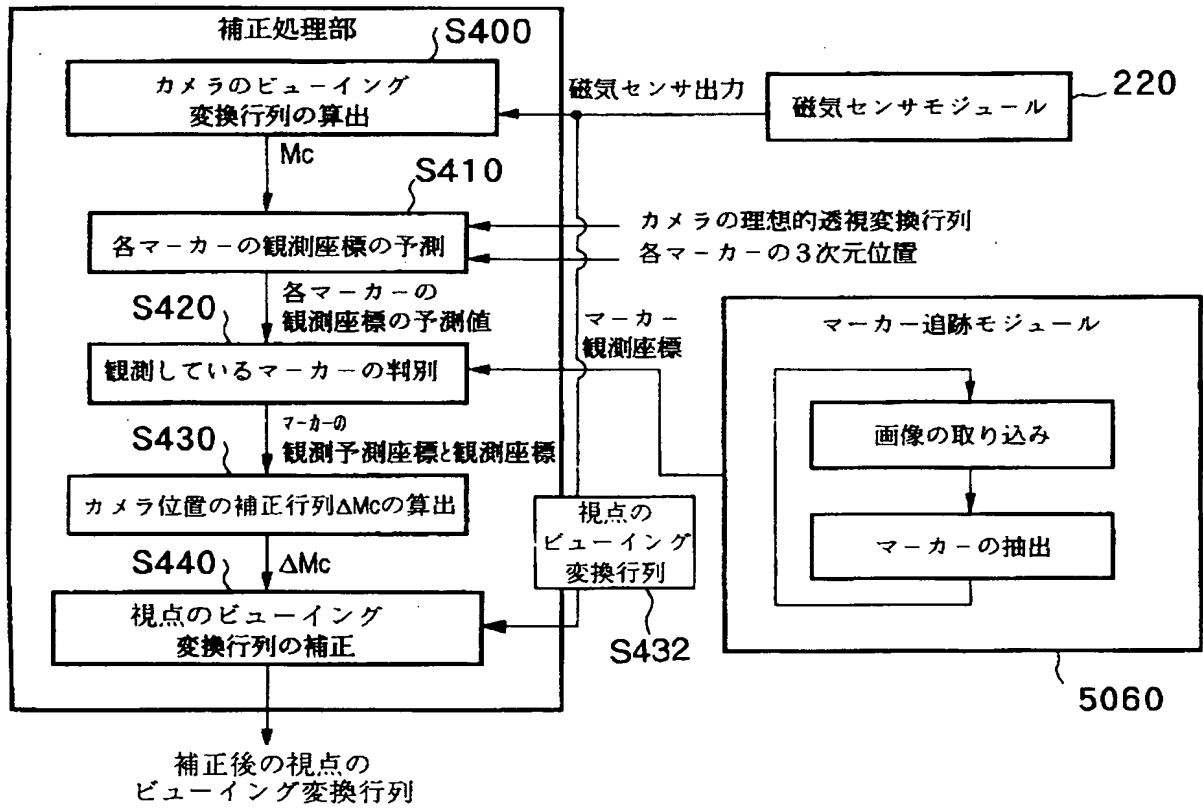


【図 14】

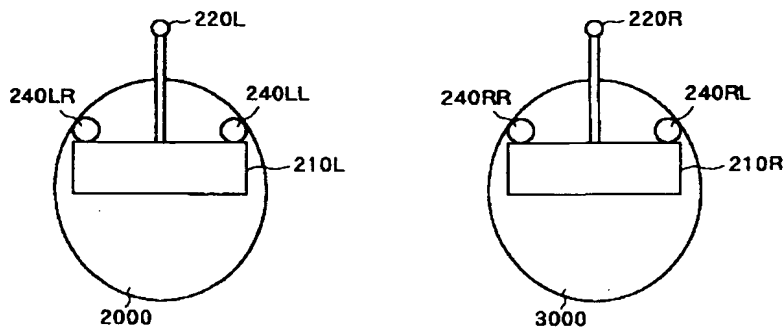




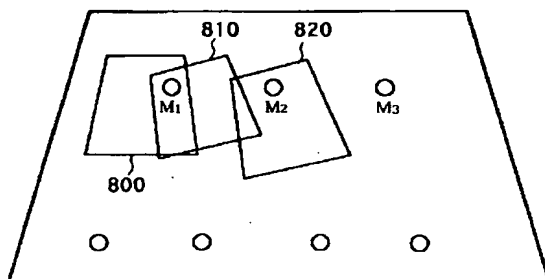
【図 16】



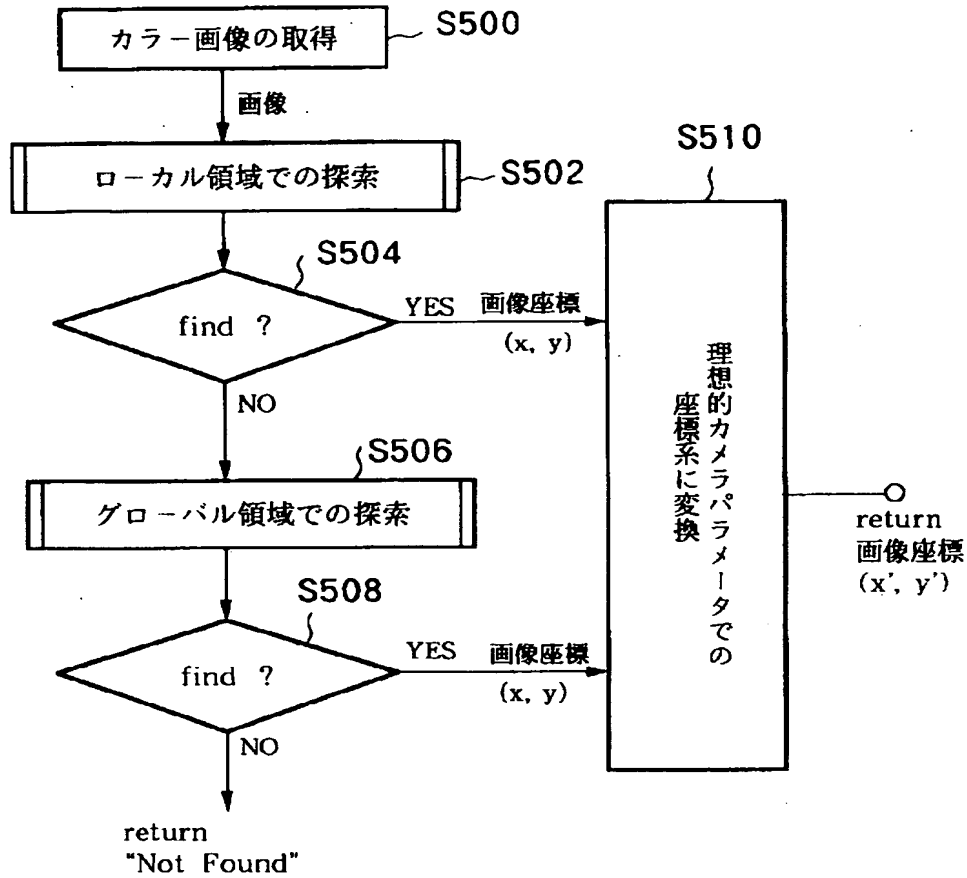
【図 21】



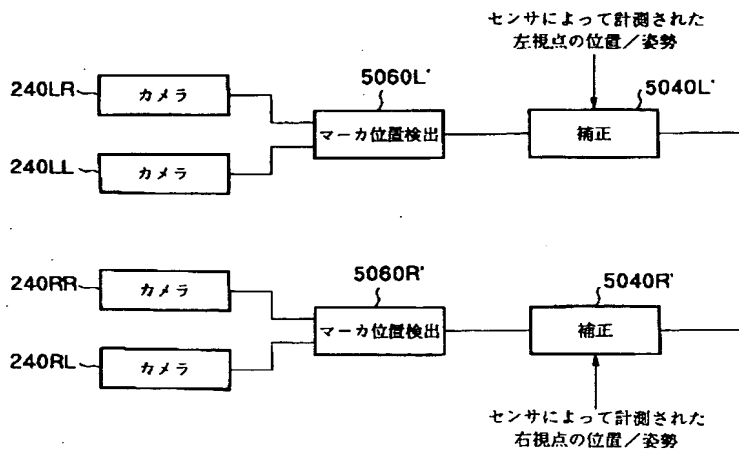
【図 24】



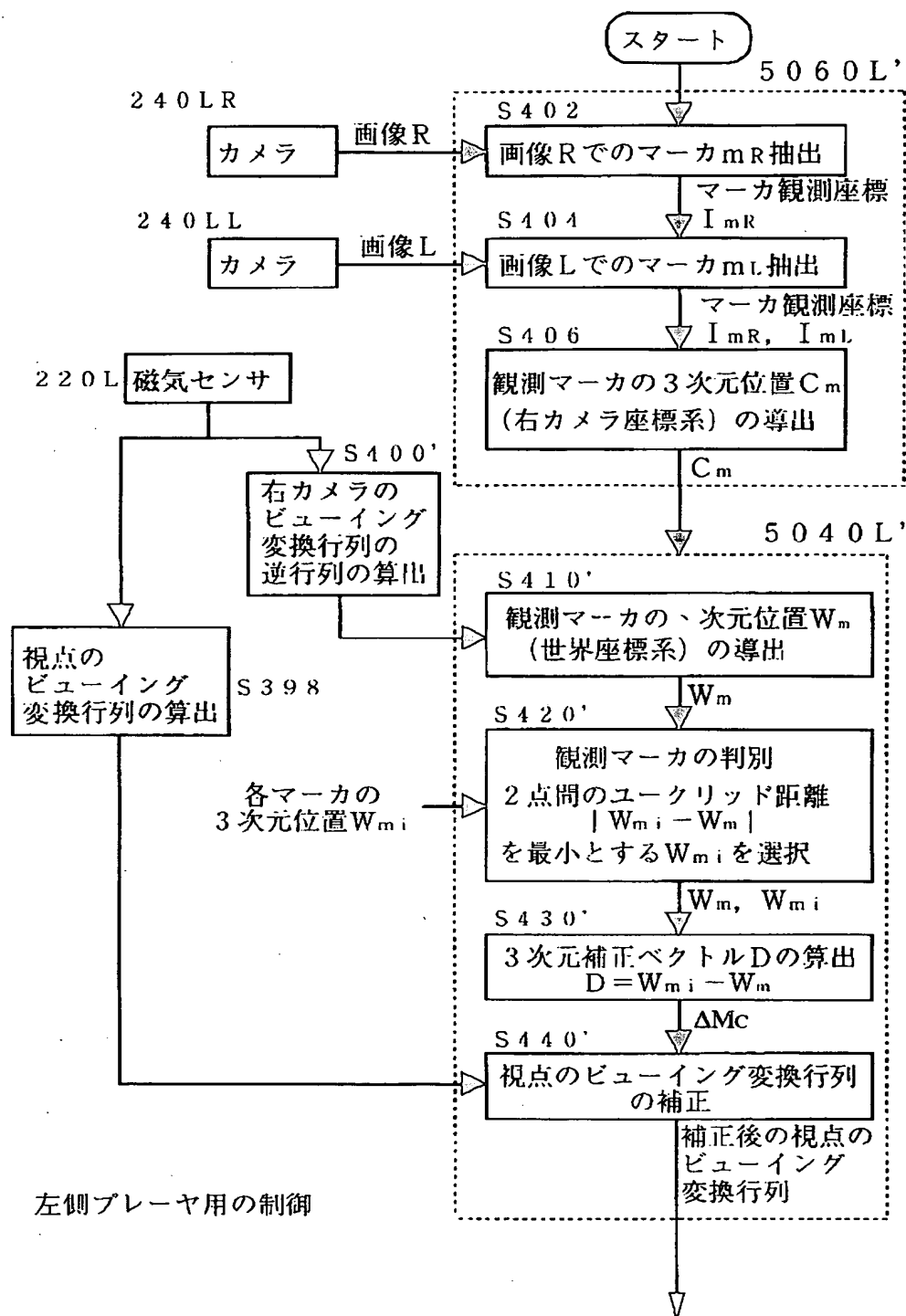
【図 17】



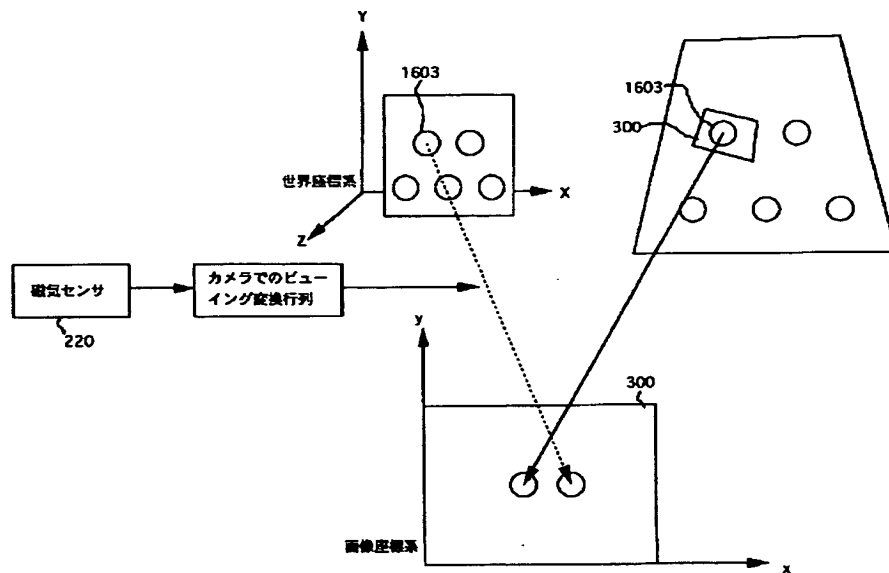
【図 22】



【図 23】



【図 26】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. <sup>6</sup>	識別記号	F I	
G06T 15/00		G06F 15/62	360
7/00			415

(72) 発明者 大島 登志一  
 横浜市西区花咲町 6 丁目 145 番地 横浜花  
 咲ビル 株式会社エム・アール・システム  
 研究所内

(72) 発明者 谷口 尚郷  
 横浜市西区花咲町 6 丁目 145 番地 横浜花  
 咲ビル 株式会社エム・アール・システム  
 研究所内

(72) 発明者 片山 昭宏  
 横浜市西区花咲町 6 丁目 145 番地 横浜花  
 咲ビル 株式会社エム・アール・システム  
 研究所内